

Série A, N° 2242

N° d'ordre :

3113

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Paul FOURNIER

Pharmacien - Licencié ès Sciences

1^{re} THÈSE. — LES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VÉGÉTALES DANS LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES DIGESTIFS. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LEUR INFLUENCE SUR LA NUTRITION CHEZ L'HOMME.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 17 Juin 1948 devant la Commission d'examen.

MM. E. AUBEL.....	<i>Président.</i>
MANGENOT	} <i>Examineurs.</i>
Melle LE BRETON.....	

PARIS

IMPRESSIONS COMMERCIALES

55, RUE D'AMSTERDAM

1949

FACULTÉ DES SCIENCES

Nom du Candidat : **FOURNIER**

Prénom : **Paul**

Date de Soutenance : **17 Juin 1948**

Numéro d'ordre : **3113**

(Ces deux mentions seront complétées par le Service de la Bibliothèque)

FOURNIER (Paul). — Les Constituants des membranes végétales dans leurs rapports avec les phénomènes digestifs. Contribution à l'étude de leur influence sur la nutrition chez l'homme. — *Paris, Im'Co 1949.* In-4° coq., 156 p.

Th. Sc. Nat. Paris 1948. Sér. A 2242
N° 3113.

FOURNIER (Paul). — Les Constituants des membranes végétales dans leurs rapports avec les phénomènes digestifs. Contribution à l'étude de leur influence sur la nutrition chez l'homme. — *Paris, Im'Co 1949.* In-4° coq., 156 p.

Th. Sc. Nat. Paris 1948. Sér. A 2242
N° 3113.

FOURNIER (Paul). — Les Constituants des membranes végétales dans leurs rapports avec les phénomènes digestifs. Contribution à l'étude de leur influence sur la nutrition chez l'homme. — *Paris, Im'Co 1949.* In-4° coq., 156 p.

Th. Sc. Nat. Paris 1948. Sér. A 2242
N° 3113.

FOURNIER (Paul). — Les Constituants des membranes végétales dans leurs rapports avec les phénomènes digestifs. Contribution à l'étude de leur influence sur la nutrition chez l'homme. — *Paris, Im'Co 1949.* In-4° coq., 156 p.

Th. Sc. Nat. Paris 1948. Sér. A 2242
N° 3113.

Série A, N° 2242

N° d'ordre :

3113

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Paul FOURNIER

Pharmacien - Licencié ès Sciences

1^{re} THÈSE. — LES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VÉGÉTALES DANS LEURS
RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES DIGESTIFS. — CONTRI-
BUTION A L'ÉTUDE DE LEUR INFLUENCE SUR LA NUTRITION
CHEZ L'HOMME.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 17 Juin 1948 devant la Commission d'examen.

MM. E. AUBEL *Président.*

MANGENOT } *Examineurs.*

Melle LE BRETON..... }

PARIS

IMPRESSIONS COMMERCIALES

55, RUE D'AMSTERDAM

1949

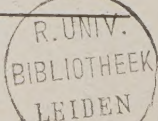
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen. M. J. CABANNES.

PROFESSEURS

L. BLARINGHEM . . .	T	Botanique.	PRÉVOST	Chimie organique.
G. JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	BOULIGAND	T Application de l'analyse à la Géométrie
C. MAUGUIN	T	Minéralogie.	CHAUDRON	T Chimie.
A. DENJOY	T	Théorie des Fonctions, et Topologie.	WYART	Minéralogie.
L. LUTAUD	T	Géographie physique et géologie dynamique.	TEISSIER	T Zoologie.
E. DARMOIS	T	Enseignement de Physique.	MANGENOT	T Biologie végétale.
Robert LÉVY	T	Physiologie comparée . . .	P. AUGER	T Physique quantique et relativité.
Henri VILLAT	T	Mécanique des fluides et applications.	MONNIER	Physiologie générale.
Ch. JACOB	T	Géologie.	PIVETEAU	Géologie
P. PASCAL	T	Chimie générale.	ROCARD	T Physique.
M. FRÉCHET	T	Calcul des probabilités et Physique mathématique.	H. CARTAN	Calcul différentiel.
M ^{me} RAMART-LUCAS	T	Chimie organique	SCHAEFFER	T Physiologie des fonctions.
FOCH	T	Mécanique physique et expérimentale.	LAFFITTE	Chimie (P. C. B.).
PAUTHENIER	T	Electrotechnique générale.	FAVARD	Calcul des probabilités et Physique-Mathématique.
De BROGLIE	T	Théories physiques.	COULOMB	T Physique du globe
JOB	T	Chimie générale	M ^{me} Cousin	Biologie animale (P.C.B.). .
PRENANT	T	Anatomie et Histologie comparées.	CHRÉTIEN	Chimie (P.C.B.).
VILLEY	T	Mécanique appliquée. . . .	DRACH	Zoologie.
COMBES	T	Physiologie végétale.	KASTLER	Physique.
GARNIER	T	Géométrie supérieure.	CHATELET	T Arithmétique et théorie des nombres.
PÉRÈS	T	Mécanique rationnelle.	EPHRUSSI	T Génétique.
HACKSPILL	T	Chimie minérale.	WURMSER	T Biologie physico-chimique.
LAUGIER	T	Physiologie générale	BAUER	T Chimie - Physique.
TOUSSAINT	T	Technique Aéronautique.	RIVIERRE	Géologie (P.C.B.)
M. CURIE	T	Physique (P. C. B.).	GAUTHERET	Biologie Végétale (P.C.B.)
G. RIBAUD	T	Hautes températures.	LUCAS	Physique
CHAZY	T	Mécanique analytique et Mécanique céleste.	MAX MORAND	Physique
H. GAULT	T	Chimie appliquée	ARNULF	Optique appliquée.
CROZE	T	Physique théorique et phy- sique céleste.	A. THOMAS	Evolution des êtres organisés.
DUPONT	T	Théories chimiques.	SOLEILLET	Physique
VALIRON	T	Calcul différentiel et Calcul intégral.	FORTIER	Mécanique expérimentale des fluides.
BARRABÉ	T	Géologie structurale et géo- logie appliquée.	DANJON	T Astronomie.
VAYON	T	Analyse et mesures chi- miques.	FROMAGEOT	Chimie Biologique
G. DARMOIS	T	Mathématiques générales.	LAPORTE	Physique générale et Radio- activité.
Jacques BOURCART	T	Géographie physique et Géologie dynamique.	JANET	Mathématiques générales.
AUBEL	T	Chimie biologique.	PETIT	T Biologie maritime.
M ^{me} JOLIO-CURIE	T	Physique générale et Ra- dioactivité.	QUENEY	T Météorologie et dynamique atmosphérique.
PLANTEFOL	T	Botanique.	GALLIEN	Biologie animale (P.C.B.).
CABANNES	T	Recherches physiques.	EICHORN	Biologie végétale (P.C.B.).
GRASSÉ	T	Evolution des êtres organisés.	DE CUGNAC	Biologie végétale (P.C.B.).
			LAVAL	Physique (P.C.B.).
			M ^{me} CAUCHOIS	Chimie-Physique.
			THELLIER	Physique du Globe.
			AUDUBERT	Electrochimie.
			L'HÉRITIER	Génétique.

Secrétaire. CH. MONIER



A mes Maîtres,

MADAME LUCIE RANDOIN,

Membre de l'Académie de Médecine,
Directeur de Laboratoire à l'Ecole des Hautes-Etudes,
Directeur de l'Institut scientifique d'Hygiène alimentaire.

MONSIEUR RENÉ FABRE,

Membre de l'Académie de Médecine,
Doyen de la Faculté de Pharmacie de Paris,
Pharmacien des Hôpitaux de Paris.

*En témoignage de
ma profonde reconnaissance.*

A MONSIEUR ANDRÉ LEROY,

**Professeur à l'Institut National Agronomique,
Président de la Commission scientifique de l'Institut professionnel de Contrôle
et de Recherches scientifiques des Industries de l'Alimentation animale.**

**qui a eu l'extrême obligeance de prendre la lourde charge
de l'impression de notre travail,**

*Avec l'expression
de notre vive gratitude.*

LES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES
DANS LEURS RAPPORTS AVEC LES PHENOMENES DIGESTIFS.

Contribution à l'étude de leur influence
sur la nutrition chez l'homme.

par Paul FOURNIER,

Licencié ès-Sciences - Pharmacien
(Université de Paris)

Chef de Travaux à l'Ecole Pratique des Hautes-Etudes.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547114_0010

I N T R O D U C T I O N

A côté de nombreux éléments minéraux, les aliments de l'homme renferment une grande diversité de substances organiques qui, presque toutes, ont pu être classées dans trois grands groupes, dits groupes de principes énergétiques : les protides, les lipides et les glucides. En général, ces principes offrent peu de résistance à l'action des enzymes digestifs : sous l'action des sucs gastriques et intestinaux, ils subissent des modifications qui aboutissent à des molécules plus simples diffusibles et absorbables.

Cependant, le rendement des deux opérations, - digestion et absorption - n'est pas total. Une fraction variable des principes alimentaires n'est pas absorbée, ce qui a conduit, expérimentalement, à calculer, pour chacun d'eux, des coefficients d'utilisation digestive. Dans l'intestin, le résidu alimentaire se trouve mélangé à des éléments non réabsorbés des sucs digestifs et à des cellules desquamées, en provenance des différentes parties du tube digestif. L'ensemble constitue un substrat aux dépens duquel, dans les derniers secteurs de l'intestin, une abondante flore bactérienne se développe. Sous l'effet des fermentations microbiennes et des phénomènes d'absorption et d'excrétion qui ont lieu à ce niveau, le contenu intestinal évolue vers la formation des matières fécales.

A côté de substances facilement digestibles et absorbables, l'homme ingère toujours, dans des conditions d'alimentation normale, des éléments insensibles à l'action de ses ferments digestifs propres. Tels sont les constituants des membranes végétales, et en premier lieu la cellulose, constituants souvent dénommés glucides indigestibles, bien que certains d'entre eux, comme la lignine, soient analytiquement au moins, fort différents des glucides.

L'apport alimentaire de glucides indigestibles a pour conséquence un accroissement du poids des fèces. Mais, alors qu'on pourrait s'attendre à une augmentation du poids sec fécal correspondant au poids des membranes non digérées, on a généralement constaté que l'influence des glucides indigestibles ne se limite pas à un simple rôle d'encombrement, mais qu'ils provoquent en fait une surproduction de matières fécales. Cela entraîne une diminution notable des coefficients d'utilisation digestive des autres principes de la ration.

De nombreux travaux ont démontré le rôle néfaste des résidus indigestibles, - parfois confondus sous le nom impropre de résidus cellulosiques -, sur l'absorption intestinale et les notions que nous venons d'exposer sont aujourd'hui classiques.

Une étude approfondie de la question de l'influence des résidus indigestibles sur les phénomènes intestinaux, nous a amené à penser que cette question avait été, en général, étudiée sans tenir un compte suffisant des trois points essentiels suivants :

1°) L'influence des résidus indigestibles a surtout été envisagée dans le cas du pain complet, c'est-à-dire dans un cas où l'on introduit dans le régime, à côté d'un poids important de glucides indigestibles tenus pour responsables des phénomènes observés, des quantités relativement considérables d'éléments variés, - vitaminiques et minéraux -, dont le rôle propre, relativement à l'affaissement des coefficients d'utilisation digestive, n'a pas été bien recherché.

2°) Le plus souvent, le dosage des constituants des membranes végétales a été effectué au moyen de méthodes analytiques insuffisantes, et l'application des résultats obtenus à l'établissement de bilans digestifs ne pouvait que conduire à des conclusions erronées.

3°) Les glucides réputés indigestibles subissent, dans l'intestin, une attaque bactérienne qui scinde une fraction de ces substances en molécules diverses dont certaines sont probablement utilisables par l'organisme humain.

Nous avons pensé que l'étude de l'influence des résidus indigestibles sur la nutrition de l'homme, envisagée à la lumière des trois considérations précédentes, méritait une étude plus approfondie.

Dans un travail antérieur (1) nous avons pu, par des méthodes analytiques classiques, constater le rôle défavorable du son de blé : une expérience réalisée sur quatre sujets nourris à un même régime de base additionné successivement de pain blanc, puis de pain complet, nous avait montré dans le dernier cas, et pour chacun des sujets, un accroissement du poids des matières fécales de plus de 20 g., alors que l'excrétion de résidus cellulosiques dans les fèces n'augmentait que de 4 g..

Il semblait donc que le rôle défavorable des glucides indigestibles se traduisit par une perte de plus de 16 g. de matière sèche théoriquement assimilable, conclusion qui rejoignait les résultats des nombreuses expériences consacrées au même problème.

Cependant, une constatation importante allait nous faire douter de la valeur de cette conclusion. Si l'on examine la composition du son de blé, d'après les renseignements fournis par les Tables de Composition des Aliments publiées par L.RANDOIN et ses Collaborateurs (2), renseignements confirmés et complétés par l'analyse, on peut dresser le tableau suivant, dont les chiffres indiquent le pourcentage du son en ses divers constituants.

(1) - L.RANDOIN, P.FOURNIER et A.DIGAUD. - Bulletin Soc. Hyg. Alim., 1944, 32, 21; Bulletin Soc. Chim. biol., 1945, 27, 40.

(2) - L.RANDOIN, P.LE GALLIC et J.CAUSERET. - Tables de composition des aliments, 2^e édition, 1947, Paris, Lanore éditeur.

Humidité	10
Protides	13,4
Lipides	2,8
Glucides	19,7
Cellulose brute	10
Matières minérales	7

Total 62,9

Il reste un indosé qui ne représente pas moins de 37 p. 100 du poids du son. A quoi cet indosé correspond-il ? L'idée qui nous est venue alors est qu'il était peut-être constitué, en partie au moins, de glucides indigestibles. S'il en était ainsi, les 4 g. supplémentaires de cellulose brute excrétée par les fèces lors de l'ingestion de pain complet ne devaient refléter qu'une faible fraction de l'excrétion réelle de glucides indigestibles, et, en conséquence, le rôle défavorable de ces substances sur l'absorption intestinale pouvait être mis en doute.

Devant de tels faits, nous avons pensé que la première tâche qui s'imposait à nous était de savoir ce qu'était chimiquement une membrane végétale. Le travail réalisé à ce sujet a fait l'objet d'une note spéciale (1).

En possession de ces données, nous avons recherché quelle valeur il convenait d'attribuer à certaines méthodes proposées pour le dosage des constituants de ces membranes en vue d'adopter, si elle existait, celle des méthodes qui s'avèrerait, à l'usage, la plus satisfaisante.

Ensuite, nous nous sommes proposé de reconsidérer la question de l'influence réelle des résidus indigestibles sur la digestion et sur l'absorption, question dont l'étude, mal engagée, nous a paru mériter d'être reprise, en partant des données analytiques et physiologiques considérées actuellement comme les plus solides.

Ainsi, avons-nous pensé pouvoir trouver des explications plus cohérentes au problème des relations existant entre les membranes végétales et les phénomènes digestifs, problème intéressant directement la Physiologie de la Nutrition.

(1) - P. FOURNIER. - Rev. gén. de Bot., 1948, 55, 49.

PREMIERE PARTIE

CHOIX D'UNE METHODE DE DOSAGE

DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES,

EN VUE D'EXPERIENCES BIOLOGIQUES SUR L'HOMME ET L'ANIMAL.

Une étude consacrée aux constituants des membranes végétales dans leurs rapports avec les phénomènes digestifs ne peut être menée à bien sans un moyen convenable d'estimation de ces constituants, ingérés et rejetés. Les méthodes proposées à cet effet sont extrêmement nombreuses. Un examen rapide de leurs caractères nous a convaincu qu'il n'était pas possible de les bien juger sans connaître, aussi parfaitement que possible, les propriétés essentielles des composés auxquels elles s'appliquent. Aussi, dans une étude préliminaire (2), nous avons examiné successivement :

- les propriétés des divers constituants des membranes végétales,
- certains points relatifs à la structure physico-chimique des membranes,
- l'action des traitements biochimiques, chimiques et physiques sur les membranes.

Ces données nous ont permis ensuite, dans un travail qui a fait l'objet d'une note particulière (3) de classer les mieux connues et les plus employées des méthodes de dosage des constituants des membranes végétales et d'en faire la critique.

Nous rappellerons ici, brièvement, quels sont les constituants des membranes. Ensuite nous examinerons les résultats que fournissent les quelques méthodes que nous avons retenues comme susceptibles d'être employées dans des recherches du genre de celles que nous entreprenons.

Chapitre premier

LES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES.

Les membranes végétales sont constituées de nombreux corps que l'on peut, d'emblée, classer en deux groupes distincts :

- un premier groupe, formé par des éléments que l'on ne trouve pratiquement pas en dehors des membranes : ce sont les constituants spécifiques;

- un deuxième groupe qui comprend des composés que l'on rencontre aussi bien dans le protoplasme : ce sont les constituants non spécifiques.

Les constituants spécifiques sont, en poids, de beaucoup les plus importants. De plus, leurs caractères propres se communiquent à toute la membrane. Ce sont ces constituants spécifiques que l'on englobe généralement sous le nom de "glucides non digestibles". C'est donc eux que nous envisagerons spécialement.

I - LES CONSTITUANTS SPECIFIQUES.

On peut les diviser en deux parties, selon leur nature glucidique ou non.

1°) Les constituants glucidiques.

Les constituants glucidiques des membranes sont : la cellulose, les hémicelluloses et les matières pectiques. Il faudrait y adjoindre certaines gommés et mucilages que nous ne retiendrons pas, car leur présence dans les membranes est exceptionnelle, alors que les autres substances énumérées ci-dessus sont beaucoup plus répandues. Nous ne retiendrons pas davantage certains constituants spéciaux et souvent mal connus des membranes des champignons et des algues, afin de ne pas nous écarter du but que nous nous proposons et qui est avant tout de connaître l'influence réelle des membranes végétales sur l'utilisation des aliments de l'homme. Ce sujet peut être étudié, dans son cadre naturel, en envisageant uniquement les membranes des végétaux supérieurs, membranes qui, pratiquement, sont les seules que nous ingérons.

2°) Les constituants non glucidiques.

Parmi les constituants spécifiques des membranes végétales, la lignine est la seule substance importante qui ne soit pas de nature glucidique. Pourtant certains autres constituants non glucidiques ont une aire de dispersion assez vaste. C'est le cas de la cutine qui forme le revêtement externe des membranes épidermiques. Mais le rapport, pondéral existant entre un composé à la fois si répandu et si localisé, et l'ensemble des autres constituants des membranes de tout un tissu est très faible. D'autres corps, la subérine du liège par exemple, se rencontrent parfois en assez grande abondance, mais il s'agit alors de cas exceptionnels.

Normalement, l'homme n'ingère que des quantités insignifiantes de ces composés, ce qui les exclut de notre étude.

II - LES CONSTITUANTS NON SPECIFIQUES.

Le nombre et les proportions des constituants non spécifiques des membranes végétales varient beaucoup d'un tissu à un autre. En général, leur influence sur les caractères et la composition des membranes semble de peu d'importance. Ce sont des matières minérales ou organiques diverses : composés azotés, matières grasses, résines, tannins, matières colorantes, etc ...

Chapitre II

VALEUR DES RESULTATS FOURNIS PAR CERTAINES METHODES DE DOSAGE

DES CONSTITUANTS SPECIFIQUES DES MEMBRANES VEGETALES.

Nous avons consacré récemment toute notre attention aux méthodes de dosage des constituants spécifiques des membranes végétales (3). De ce travail, il ressort qu'aucune méthode ne présente des garanties suffisantes d'exactitude. Cela est vrai non seulement pour les nombreuses méthodes de caractère empirique, mais aussi pour les procédés de dosage fondés sur une bonne connaissance des propriétés des constituants auxquels elles s'appliquent.

La valeur approximative des méthodes de dosage tient essentiellement à deux causes:

- aux faibles différences existant entre les caractères analytiques de la cellulose et de certains composés hémicellulosiques, de certaines matières pectiques et des hémicelluloses;

- aux variations dans les propriétés d'un même constituant, selon la structure physico-chimique de la membrane dont il fait partie.

Dans ces conditions, on conçoit qu'il ne soit pas facile de trouver de méthode générale, applicable à n'importe quel tissu végétal.

Aussi pensons-nous nécessaire de rechercher, sur des produits analogues à ceux que nous emploierons pour nos expériences de nutrition animale et humaine, la valeur des renseignements fournis par certaines méthodes de dosage des constituants spécifiques des membranes végétales.

I - METHODES DE DOSAGE COURANTES ET METHODES DE REFERENCE.

Dans le travail auquel nous avons fait allusion, au début de ce chapitre (3), nous avons été amené à rechercher ou à proposer des méthodes de référence. Nous en avons déterminé les limites d'application et nous avons insisté sur le fait que l'emploi de ces méthodes était incompatible avec la nécessité d'effectuer des dosages en série. Aussi notre choix doit-il, autant que possible, porter sur une méthode plus maniable, mais fournissant des résultats assez semblables à ceux des méthodes de référence.

Pour doser la cellulose, nous avons choisi comme référence la méthode de G. BERTRAND (1). Après un traitement par divers solvants neutres, on fait agir une solution de soude diluée, à l'ébullition. Le résidu lavé est traité alternativement par de l'eau de brome et de l'eau ammoniacale jusqu'à ce que cette dernière ne se colore plus. On filtre, lave, sèche et pèse. Notons que sur le son de blé, nous avons pu mettre en évidence, dans la cellulose ainsi obtenue, des quantités importantes de substances hémicellulosiques.

Pour les hémicelluloses, nous avons proposé une méthode de référence qui est une synthèse de plusieurs techniques connues. Elle n'est pas pratique, mais nous avons été amené à la concevoir et à l'utiliser du fait des mauvaises conditions matérielles dans lesquelles nous travaillions à ce moment. Elle comporte cinq temps différents :

- digestion artificielle par la pancréatine à pH = 8,
- hydrolyse du résidu par une solution sulfurique concentrée, à froid, puis diluée à l'ébullition,
- fermentation des hexoses,
- formation de furfural,
- dosage du furfural.

Remarquons que cette méthode n'est valable que pour doser les matières hémicellulosiques formées uniquement ou en très grande proportion de pentoses. Elle est également utilisable dans le cas d'hémicelluloses uroniques fournissant des pentoses dans les conditions de l'hydrolyse en milieu acide.

Pour la lignine, nous avons proposé une méthode basée sur la résistance de cette substance aux traitements par des solutions sulfuriques concentrées. Toutefois, afin d'éviter la formation de produits de condensation de la lignine avec certaines substances hémicellulosiques ou azotées, nous avons fait précéder l'attaque sulfurique d'une digestion artificielle par la pepsine en milieu chlorhydrique et d'une hydrolyse chimique au moyen d'une solution sulfurique diluée.

Parmi les méthodes de dosage courantes que nous avons envisagées, trois nous semblent devoir être retenues, pour des raisons très différentes d'ailleurs : la méthode de Weende, la méthode de GUILLEMET et JACQUOT et celle de WILLIAMS et OLMSTED.

1°) La méthode de Weende

Elle a pour auteurs Henneberg et Stohman (8).

L'échantillon est traité à l'ébullition par une solution sulfurique à 1 g., 25 p. 100 centimètres cubes. Le résidu séparé et lavé est traité à l'ébullition par une solution de potasse de même titre. On filtre, lave à l'eau acétique très diluée, à l'alcool, à l'éther. On sèche et on pèse. Les cendres peuvent être soustraites du poids obtenu. On a ainsi la "cellulose brute".

Nous ne nous faisons aucune illusion au sujet de la valeur qu'il convient d'attribuer aux résultats fournis par ce procédé. Mais puisque l'usage de la méthode classique de Weende est encore très répandu et que la plupart des travaux de nutrition animale concernant les résidus indigestibles reposent sur son emploi, nous avons pensé qu'elle devait être comparée aux résultats obtenus par des procédés plus sûrs.

2°) La méthode de GUILLEMET et JACQUOT.

GUILLEMET et PRECEPTIS emploient les propriétés hydrolysantes et dissolvantes de l'acide formique à une concentration comprise entre 80 et 85 p.100 (7). Précisé dans ses détails techniques par GUILLEMET et JACQUOT, l'usage de la solution formique conduit à la détermination de l'"indice formique" de la substance analysée (5).

L'échantillon est soumis à l'action de la solution formique, à l'ébullition. On lave le résidu par une solution d'acide formique bouillante, puis par l'eau bouillante. On sèche et on pèse.

GUILLEMET et JACQUOT montrent que leur procédé appliqué, d'une part à l'aliment, et d'autre part aux fèces correspondantes fournit le même chiffre. Donc, l'indice formique de l'aliment représenterait sa teneur en indigestible glucidique. Ils démontrent qu'il en est ainsi pour le rat (5) et pour l'homme (6).

Nous avons pensé que le fait de pouvoir déterminer d'une façon très simple, les matières glucidiques indigestibles de la ration était très séduisant, et nous avons jugé intéressant d'examiner la valeur des résultats fournis par la détermination de l'indice formique.

3°) La méthode de WILLIAMS et OLMSTED (12)

Cette méthode consiste essentiellement, après autoclavage et digestion pancréatique préalables, à traiter le résidu par l'acide sulfurique à 60 p. 100 en volume, à froid, puis à l'ébullition en solution diluée de 15 fois. Après neutralisation, les hexoses et pentoses libérés sont dosés, avant et après fermentation, d'après leurs propriétés réductrices. Les hexoses représentent la cellulose, les pentoses correspondent aux hémicelluloses. Le résidu de l'hydrolyse acide est de la lignine.

Le principal intérêt de cette méthode est de doser sur le même échantillon les différents constituants spécifiques des membranes végétales. Elle possède une base chimique à laquelle les deux méthodes précédentes ne peuvent prétendre.

II - COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS FOURNIS PAR CES DIFFERENTES METHODES.

Les expériences biologiques sur l'homme et l'animal que nous rapportons ici devant essentiellement porter sur le blé, nous avons jugé indispensable de rechercher la valeur des méthodes retenues en les appliquant au son.

Les essais ont été pratiqués sur un son de blé de variété indéterminée, qui, en meunerie, est catalogué sous le nom de gros son brossé. Tous les résultats sont exprimés pour 100 g. de son sec.

1°) Analyse effectuée par la méthode de Weende.

Cellulose brute : 11,1 p. 100.

Les méthodes de référence, appliquées à la cellulose brute obtenue ont fourni les résultats suivants :

Cellulose (BERTRAND).....	8,1 %
Hémicelluloses (furfural)	0,45 %
Lignine (méthode de référence)	1,8 %

Total 10,35 %

La différence entre les quantités de cellulose brute et la somme des quantités de cellulose, hémicelluloses et lignine est, pour la plus grande partie, constituée par des matières minérales et azotées.

Les chiffres précédents donnent pour 100 grammes de cellulose brute :

Cellulose	73 %
Hémicelluloses	4 %
Lignine	16 %

Ces résultats sont à peu près conformes aux chiffres proposés par MANGOLD (9) pour la composition de la cellulose brute :

Cellulose	65 à 80 %
Pentosanes	5 à 10 %
Lignine	16 à 32 %

2°) Analyses effectuées par la méthode de GUILLEMET et JACQUOT.

Indice formique du son : 18,7 p. 100 grammes de son sec.

L'analyse par les méthodes de référence du résidu de l'attaque formique nous a fourni les résultats suivants :

Cellulose (BERTRAND)	9, %
Hémicelluloses (furfural)	1,4 %
Lignine (méthode de référence)	2,8 %
Total	13,2 %

Les chiffres précédents représentent, pour 100 grammes du produit obtenu par la détermination de l'indice formique :

Cellulose	48 %
Hémicelluloses	7,5 %
Lignine	15 %
Total	70,5 %

Remarquons tout de suite que ce total ne représente que 70 p. 100 du poids du résidu formique. Si, comme ces auteurs le prétendent, l'indice formique correspond assez bien à l'indigestible glucidique, il faut noter, toutefois que près du tiers du produit obtenu est constitué par autre chose que par des glucides classiquement indigestibles.

L'analyse, en vue de connaître la nature des 30 centièmes non dosés nous a fourni les chiffres suivants :

Matières protéiques (N x 5,8)	2,2 %
Matières minérales	5 %
Matières solubles dans les solvants	
organiques (alcool, éther)	16 %
Acides volatils (exprimés en acide formique)	6 %
Total	29,2 %

Les matières solubles dans les solvants organiques présentent bien les caractères des lipides. Remarquons que l'un des auteurs a reconnu plus tard la nécessité de laver le résidu du traitement formique à l'alcool et à l'éther (4). Mais dans quelle mesure le produit ainsi obtenu représente-t-il toujours l'indigestible glucidique ?

Le dosage des acides volatils a été effectué par la technique de OLMSTED, WHITAKER et DUDEN (10). L'idée de cette recherche nous est venue d'une remarque de GUILLEMET et PRECEPTIS qui, dans la première communication consacrée à l'emploi de l'acide formique, envisagent la formation probable de formiate de cellulose. De fait, l'allure de la courbe d'entraînement des acides volatils, à pente légèrement décroissante, est bien caractéristique de l'acide formique.

Pour le dosage, le résidu du traitement formique est mis à macérer 24 h. dans de l'acide sulfurique à 72 p. 100 en volume, à 0°. Le liquide est dilué, neutralisé, puis ramené en milieu sulfurique afin de libérer les acides faibles. Une partie aliquote est soumise à l'entraînement à la vapeur.

Afin de vérifier que ces acides volatils ne sont pas dus à l'action de la solution sulfurique concentrée sur certaines matières organiques qui constituent le résidu de l'attaque formique, nous avons soumis au même traitement sulfurique du papier filtre, de la cellulose brute obtenue par la méthode de WEENDE et un résidu de digestion pancréatique. Ces deux derniers produits ont été préparés à partir du même son de blé. Dans aucun cas, nous n'avons pu déceler de formation d'acides volatils.

3°) Dosage du son par la méthode de WILLIAMS et OLMSTED.

Après autoclavage à 120° pendant 20 minutes, digestion pancréatique et traitement du résidu de digestion par les solvants organiques neutres (alcool, benzène, éther), on obtient un résidu qui représente 52,4 p. 100 du son. L'analyse de ce résidu, effectuée soit conformément aux prescriptions de WILLIAMS et OLMSTED, soit en suivant les techniques de référence, a fourni les chiffres suivants rapportés à 100 g. de son sec :

	<u>WILLIAMS</u>		<u>Références</u>	
	en g.		en g.	
Cellulose	12,1		12,8	
Hémicelluloses ..	24,8		23,7	
Lignine	5,4		4,9	
Total	42,3		41,4	

Ces résultats nous montrent que, dans le cas du son, la méthode de WILLIAMS fournit des chiffres voisins de ceux des méthodes de références.

Remarquons que le résidu délipidé de la digestion pancréatique contient un indosé important. L'analyse de ce résidu nous a fourni les chiffres suivants rapportés à 100 g. de son sec :

Matières protéiques (N x 5,8)	6,8 g.
Cendres	2,1 g.

On voit que ce résidu renferme encore une proportion importante des matières protéiques contenues dans le son primitif.

4°) Comparaison entre les résultats trouvés par les différentes méthodes.

Si l'on exprime par 100 les quantités respectives de cellulose, hémicelluloses et lignine fournies par les techniques de référence, les résultats des autres méthodes donnent les chiffres suivants :

	<u>Références</u>	<u>Weende</u>	<u>Indice formique</u>	<u>WILLIAMS</u>
Cellulose	100	64	71	94,5
Hémicelluloses..	100	2	6	105
Lignine	100	37	57	110

D'autre part, si l'on désigne par 100 la somme des quantités de cellulose, hémicelluloses et lignine présentes dans le son et obtenues par les méthodes de référence, les autres méthodes fournissent respectivement :

Weende	26,7
Indice formique	45
WILLIAMS	102

Ces résultats comparatifs conduisent aux conclusions suivantes :

- Cellulose : les méthodes de référence et de WILLIAMS donnent des chiffres voisins. Il en est de même pour les deux autres méthodes, mais il existe une différence de 30 p. 100 environ entre les résultats des deux groupes de méthodes.

L'interprétation de ces faits est très délicate. S'agit-il d'une destruction d'une partie de la cellulose par les méthodes empiriques de WEENDE et de GUILLEMET et JACQUOT ou plutôt y a-t-il surcharge de la cellulose pure, par des celluloses dans la méthode de BERTRAND, par la fraction fermentescible des hémicelluloses dans la technique de WILLIAMS ? Ce dernier fait est incontestable : les hémicelluloses du son sont constituées, pour une faible partie, non évaluée exactement, de glucose qui, d'après le mode opératoire employé, est exprimé en cellulose. Nous avons dit, déjà, que la méthode de BERTRAND ne pouvait pas séparer la cellulose des hémicelluloses les plus résistantes. Dans la cellulose obtenue par la méthode de BERTRAND, nous avons trouvé une teneur en pentosanes d'environ 15 p. 100. Les quantités réelles de cellulose sont certainement inférieures à celles obtenues par les méthodes de BERTRAND et de WILLIAMS et OLMSTED.

Est-ce à dire que les chiffres fournis par les méthodes empiriques représentent mieux la vraie teneur du son en cellulose ? Le fait que le papier soit attaqué par les réactifs employés dans la technique de WEENDE ne prouve pas absolument que la cellulose pure est sensible à ces traitements. En effet, le papier est préparé par des procédés industriels dont le principe est souvent le même que celui employé dans la méthode de BERTRAND d'isolement de la cellulose : action dissolvante des liqueurs alcalines, action oxydante d'un composé chloré, action dissolvante d'une solution sulfitique. Il reste vraisemblablement des celluloses, préexistantes dans la membrane, ou des composés analogues formés par dépolymérisation de la cellulose au cours des opérations assez brutales de préparation du papier. Ce sont ces substances plus fragiles qui passeraient en solution.

Tant qu'une méthode de dosage de la cellulose pure, mettant en oeuvre des réactifs n'entraînant pas de dépolymérisation n'aura pas été trouvée, il sera impossible de savoir la valeur exacte des méthodes proposées jusqu'ici.

Ce que nous avons vu des propriétés de la cellulose permet de penser que le mode opératoire du procédé WEENDE ne doit pas sensiblement avoir de prise sur cette substance et que le produit obtenu mérite bien le nom de "cellulose brute", puisqu'il représente une cellulose accompagnée d'un peu de lignine et des hémicelluloses les plus

résistantes. La méthode de WEENDE est donc un moyen approximatif de doser la cellulose et les expériences d'utilisation de cette substance par l'animal que cette méthode a permis d'effectuer, sont peut-être acceptables. Mais les résultats qu'elle fournit n'ont plus aucune signification quand on veut leur faire représenter l'ensemble des substances non digestibles de la ration alimentaire ou des fèces.

- Hémicelluloses : les méthodes de WEENDE et de GUILLEMET et JACQUOT ne dosent qu'une partie infime des hémicelluloses, de 2 à 6 p. 100 dans nos expériences. Dans tous les cas fréquents où ces substances sont abondantes et même quelquefois prédominantes (par exemple dans les parties périphériques du grain de blé); les résultats de ces méthodes sont très inférieur au poids réel des membranes végétales contenues dans l'échantillon examiné.

La méthode de WILLIAMS et le dosage du furfural que nous avons choisis comme méthode de référence fournissent des résultats qui doivent, dans le cas du son, conduire à un chiffre acceptable d'hémicelluloses. La façon de calculer la cellulose et les hémicelluloses par WILLIAMS et OLMSTED n'est pas à l'abri de toute critique. Elle conduit, presque toujours, à sous-estimer les quantités d'hémicelluloses et par voie de conséquence, à compter trop de cellulose. En effet, cette dernière est estimée d'après la différence entre le pouvoir réducteur total de l'hydrolysate et son pouvoir réducteur non fermentescible. En général, celui-ci est incapable de représenter exactement les hémicelluloses dont une partie plus ou moins importante est presque toujours formée de sucres fermentescibles. Ces sucres fermentescibles vont être, par le calcul, convertis en cellulose alors que leur origine est hémicellulosique. Mais si la méthode de WILLIAMS ne peut prétendre qu'à une approximation de la cellulose et des hémicelluloses, son très grand avantage réside dans le fait que le pouvoir réducteur de l'hydrolysate étant fixe et le pouvoir réducteur du glucose et d'un mélange xylose-arabino-se assez peu différents, la somme des quantités de cellulose et d'hémicelluloses trouvées représente bien ce qu'elle est en réalité, dans l'échantillon examiné, même si les termes de cette somme ne sont qu'approximatifs.

- Lignine : les méthodes empiriques de WEENDE, de GUILLEMET et JACQUOT dissolvent une fraction très importante de la lignine. La "cellulose brute", le produit obtenu par la détermination de l'indice formique, ne renferment respectivement qu'environ le tiers et la moitié des quantités de lignine présentes dans les échantillons examinés. Si l'on sait que la lignine est de beaucoup la substance végétale la moins affectée par les divers phénomènes gastro-intestinaux accompagnant la digestion, on conviendra que ces méthodes se prêtent mal à une étude de l'influence des substances indigestibles sur ces phénomènes.

Les résultats des méthodes de WILLIAMS et de référence, assez concordants, indiquent cependant un excédent de 10 p. 100 de lignine par le procédé de WILLIAMS, ce qui est dû, vraisemblablement, à des condensations de la lignine avec des substances azotées et hémicellulosiques.

III - CHOIX D'UNE METHODE DE DOSAGE.

L'application de différentes méthodes de dosage des éléments les moins digestibles des aliments, à des substances diverses, -au son de blé dans le cas présent-, l'analyse détaillée des résidus fournis par les méthodes employées, nous permettent de juger de la valeur de ces procédés.

Ni la méthode de WEENDE, ni celle de GUILLEMET et JACQUOT ne permettent d'atteindre le total des constituants des membranes végétales. S'il est permis de penser qu'elles respectent la cellulose, elles retirent une partie très importante des hémicelluloses et de la lignine.

La méthode de WILLIAMS et OLMSTED nous apparaît comme un réel progrès dans la détermination des composés spécifiques des membranes végétales. Certes, l'estimation des hémicelluloses dans les cas où les matières pectiques sont présentes en quantité notable conduit à des chiffres peu significatifs. Même dans les cas où l'inconvénient résultant de la présence de matières pectiques n'existe pas, nous avons été amené à faire quelques réserves sur la façon dont les quantités de cellulose et d'hémicelluloses sont calculées. Il est vrai, cependant, que la somme des teneurs en cellulose et en hémicelluloses offre de bonnes garanties.

Si nous comparons les analyses complètes d'un même son de blé, les constituants des membranes étant déterminés, soit par la méthode de WEENDE, soit par celle de WILLIAMS et OLMSTED, nous comprenons immédiatement le progrès analytique considérable correspondant à l'emploi de cette dernière méthode. Dans l'introduction à ce travail, nous avons vu que le total de l'eau, des protides, des lipides, des glucides (amidon) et des cendres correspondait à 53 p. 100 environ du son analysé. L'addition, à ce chiffre, de 10 p. 100 de cellulose brute, donne une proportion de 63 p. 100 de substance dosée, soit un indosé de 37 p. 100. Si, au chiffre de 53 p. 100, on ajoute la somme de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine (38 p. 100 environ), on arrive à un total de 91 p. 100. L'indosé ne représente plus que 9 p. 100 du poids du son, ce qui s'explique, en partie, par la présence de certaines substances organiques, l'acide phytique par exemple, qui n'est évalué par aucune des techniques employées pour le dosage des différentes substances énumérées ci-dessus.

Remarquons, cependant, que si les méthodes empiriques, et particulièrement la méthode de WEENDE, ne peuvent être utilisées dans des expériences de nutrition, elles peuvent néanmoins rendre des services. C'est ainsi que l'on peut déterminer approximativement le taux d'extraction des farines d'après leur teneur en cellulose brute (11). Le taux de cellulose brute s'accroît si rapidement, quand on augmente le pourcentage de farine extraite, que les chiffres obtenus ont une bonne valeur comparative.

Mais nous considérons qu'il est très dangereux de laisser subsister des conclusions telles que celles que MANGOLD (9), spécialiste de ces questions, tire d'une étude rapide des moyens de détermination des constituants des membranes végétales. MANGOLD dit ceci :

" Puisque la détermination séparée de la cellulose, de la lignine et des hémicelluloses, recommandée aussi par WILLIAMS et OLMSTED, demande trop de temps, et que, d'autre part, la cellulose brute ne se laisse pas dissocier d'une façon constante en ses éléments constitutifs simples par les différents procédés, il est préférable d'utiliser la méthode de WEENDE, pour la détermination de la cellulose brute totale, particulièrement lorsqu'il s'agit d'exécuter une analyse de fourrage ou de déterminer la digestibilité d'une ration ".

Ce qui, pour le son de blé, équivaut à ne doser que le quart du total des constituants spécifiques des membranes. Nous étudierons, par ailleurs, dans quelle mesure la méthode de WEENDE peut nous renseigner sur la digestibilité des aliments, mais nous devons penser qu'elle ne peut fournir que des résultats concernant l'utilisation digestive de la cellulose brute, c'est-à-dire très approximativement de la cellulose, sans rien laisser prévoir du sort des autres constituants des membranes au cours des phénomènes digestifs et de leur influence sur ces phénomènes.

BIBLIOGRAPHIE - lère partie

1. BERTRAND (G.). - Ann. Agron., 1937, 7, 1.
2. FOURNIER (P.). - Rev. gén. de Botan., 1948, 55, 49.
3. FOURNIER (P.). - Bull. Soc. sc. Hyg. alim., 1948, 36, 122.
4. GUILLEMET (R.) et HAMEL (P.). - Bull. Soc. Chim. biol., 1945, 27, 231.
5. GUILLEMET (R.) et JACQUOT (R.). - C. R. Ac. Sc., 1943, 216, 508.
6. GUILLEMET (R.), JACQUOT (R.), TREMOLIERES (J.) et ERFMANN (R.). - Bull. Soc. Chim. biol., 1945, 27, 56.
7. GUILLEMET (R.) et PRECEPTIS (P.). - C. R. Ac. Agr., 1942, 28, 383.
8. HENNEBERG (W.) et STOHRMAN (F.). - Landw. Vers. Stat., 1864, 6, 496.
9. MANGOLD (E.). - L'utilisation alimentaire de la Cellulose. Edit. Hermann, Paris 1937.
10. OLMSTED (W.H.), WHITAKER (W.H.) et DUDEN (C.W.). - Journ. of biol. Chem., 1929, 85, 109.
11. RANDOIN (L.), DELAROUZEE (G.) et FOURNIER (P.). - Bull. Soc. sc. Hyg. alim., 1943, 31, 177.
12. WILLIAMS (R.D.) et OLMSTED (W.). - Journ. of biol. Chem., 1935, 108, 653.

DEUXIEME PARTIE

LE SORT DES MEMBRANES VEGETALES DANS

LE TUBE DIGESTIF DE L'HOMME.

L'étude des constituants spécifiques des membranes végétales nous a montré, pour la plupart d'entre eux, une résistance remarquable envers les réactifs utilisés pour leur dosage (13). Aussi, est-il permis de penser que les agents chimiques et diastasiques de digestion, dont disposent les animaux supérieurs, sont sans effet notable sur les membranes. Seules, des matières pectiques, comme nous l'avons montré dans un travail antérieur (13), et peut-être une fraction des hémicelluloses, peuvent être solubilisées au cours de la digestion, sans aucune intervention diastasique, du seul fait de la réaction du milieu.

Pourtant, il y a longtemps que l'on sait, à la suite des travaux de SPRENGEL (80), en 1832, puis de HAUBNER (18) et de HENNEBERG et STOHRMAN (21), qu'une fraction importante de la cellulose ingérée par les ruminants ne se retrouve plus dans leurs matières fécales. En 1870, WEISKE (88) démontre qu'il en est de même pour l'homme.

Les causes de la disparition de la cellulose, les conséquences qui en découlent, ont suscité de nombreux travaux. Le plus souvent, les expériences ont été faites sur les herbivores, animaux pour lesquels le problème de l'utilisation de la cellulose est capital, cette substance constituant une partie importante de la ration. Les difficultés analytiques ont fait que, le plus souvent, c'est la digestibilité de la cellulose brute qui a été déterminée, ce qui est suffisant pour affirmer qu'il y a eu utilisation apparente et même pour mesurer approximativement la digestibilité de la cellulose, mais insuffisant pour rendre compte des modifications subies par l'ensemble des constituants des membranes. En ce qui concerne le sort des hémicelluloses, des matières pectiques et de la lignine dans le tube digestif, les données sont plus rares.

Chapitre premier.

LA CELLULOLYSE DANS L'INTESTIN HUMAIN.

I - LES CAUSES DE LA CELLULOLYSE.

La réaction des milieux gastro-intestinaux de l'homme ou des animaux supérieurs ne peut permettre en aucun cas une hydrolyse chimique, même partielle, de la cellulose. ALLEN et CARLSON ont montré que la salive, la pepsine et la pancréatine sont sans action sur la cellulose (1). Nos expériences personnelles, que nous exposons dans un autre travail (13), nous ont conduit aux mêmes conclusions, en ce qui concerne la pepsine et la pancréatine.

Lorsque la dégradation de la cellulose se produit, elle est le fait de diastases spécifiques nommées cellulases ou cytases. L'existence de tels ferments a été prouvée chez diverses espèces animales et végétales.

1°) Les cellulases des végétaux.

A) Bactéries.

Du sol, on a isolé plusieurs espèces de bactéries, aérobies ou anaérobies qui désintègrent la cellulose. Des bactéries cellulolytiques anaérobies ont été trouvées par POCHON (53) dans la panse des ruminants et par KHOUVINE (33) dans le tube digestif de l'homme. Dans ce dernier cas, l'agent causal, le *Bacillus cellulosae* dissolvens, attaque la cellulose, au moyen d'une cellulase, endoferment, n'agissant que lorsque le microbe vivant adhère à la cellulose. Cette bactérie ne dissocie que la cellulose, à l'exclusion de tous les autres substrats glucidiques essayés. Si cette bactérie agit de concours avec d'autres espèces, ce qui est sa condition normale d'existence dans l'intestin, son action est plus intense. Le *Bacillus cellulosae* dissolvens représente l'adaptation la plus parfaite à la vie symbiotique. Sa culture nécessite l'addition d'un extrait fécal apportant les facteurs de croissance qui lui sont nécessaires.

POCHON (52) a isolé des bactéries de caractères intermédiaires entre les bactéries cellulolytiques du sol, possédant un grand pouvoir de synthèse, et le bacille de KHOUVINE, qui dépend très étroitement des conditions du milieu de culture. L'existence de plusieurs bactéries dont les propriétés permettent de passer insensiblement des caractères de bactérie du sol, à celles de KHOUVINE, permet à POCHON de penser que les bactéries cellulolytiques du tube digestif des mammifères ne sont que des bactéries du sol adaptées à la vie symbiotique .

On a également trouvé dans les fèces de l'homme, des bactéries aérobies désintégrant la cellulose assez rapidement (37).

B) Champignons.

D'après ALLEN et CARLSON, la cellulose n'est pas attaquée par les levures quand des bactéries ne sont pas ensemencées en même temps qu'elles (1).

Il est établi que beaucoup d'espèces de champignons filamenteux ont la faculté d'hydrolyser la cellulose, sans que, d'après LUTZ, le mécanisme de la cellulolyse soit bien élucidé (44). HOPFFE a décrit un *Aspergillus cellulosa* dont le milieu de culture, filtré, désintègre fortement la cellulose, preuve de l'existence d'une exodiastase (24, 11). Les fèces de l'homme renferment souvent des Mucorinées, capables d'attaquer la cellulose. Pour HIRSCHBERG, ces champignons, qui appartiennent surtout aux genres *Aspergillus* et *Penicillium*, seraient les principaux organismes destructeurs de cellulose dans l'intestin de l'homme (22). D'autre part, nous possédons des données au sujet de l'action des champignons supérieurs sur la cellulose. LUTZ (43) étudie l'action du mycélium de diverses espèces d'Hyménomycètes lignicoles sur le coton cardé et montre que le pouvoir cellulolytique est intense, mais lent, avec des variations d'une espèce à l'autre.

C) Autres végétaux

Les diastases cellulolytiques appelées cellulase, cytase, séminase, sont très répandues dans le règne végétal. A tous les stades de la vie des végétaux supérieurs, on peut assister à la résorption des membranes de certains tissus, par exemple, au moment de la germination de la graine, ou lors de la ramification de la racine. Certains tissus végétaux comme l'albumen de la graine ou l'assise nourricière des sacs polliniques sont appelés à disparaître complètement. Dans tous ces cas, ce sont des cellulases qui sont à l'origine de la destruction des membranes.

Ainsi BROWN et MORRIS (6) ont montré que, pendant la germination de certaines graines, les membranes végétales sont attaquées par une diastase hydrolysante.

2°) Cellulases des animaux.

A) Protozoaires.

Ces organismes, que l'on trouve en abondance dans la panse des ruminants, n'auraient, d'après les travaux de DOGIEL (10) et de MANGOLD (46), aucune action cellulolytique. Par contre, HUNGATE décrit des protozoaires qui, dans l'estomac des ruminants, digèreraient la cellulose (27).

Par ailleurs, CLEVELAND a montré que des infusoires flagellés du tube digestif des termites rongeurs de bois étaient, chez ces organismes, à l'origine de l'utilisation de la cellulose (8).

B) Invertébrés.

L'appareil digestif de certains Invertébrés secrète des cellulases. Parmi ceux-ci, citons l'escargot, dont l'hépatopancréas possède une diastase très active. Découverte par BIEDERMANN et MORITZ (3), étudiée par SEILLIERES (77), l'action du suc digestif de l'hépatopancréas de l'escargot sur la cellulose régénérée à partir de sa solution dans la liqueur de SCHWEIZER, a été utilisée par KARRER et ses collaborateurs pour hydrolyser cette substance, presque quantitativement (30, 31).

Chez de nombreuses espèces d'Insectes, on a montré la présence de cellulase dans le tube digestif. Nous n'entreprendrons pas l'étude de ce point particulier, notre but étant de rechercher l'origine des cellulases qui peuvent expliquer la désintégration de la cellulose dans le tube digestif de l'homme. SARTORY a montré que la cellulolyse, chez certains insectes xylophages, était due aux microorganismes : bactéries et champignons, contenus dans leur tube digestif (72).

C) Vertébrés.

Sauf en ce qui concerne peut-être une espèce de chauve-souris (9 b.) aucune cellulase n'a jamais été trouvée dans les sécrétions et les tissus des Vertébrés. Les travaux d'ALLEN et CARLSON (1) ont montré que les ferments digestifs des animaux supérieurs ne sont pas en cause, mais que ce sont effectivement les bactéries qui sont responsables de la cellulolyse. REMY (56) démontre qu'il semble bien en être ainsi, une suspension de fèces actives devenant sans action sur la cellulose, après filtration à la bougie. Van der RIES et GOSMANN font les mêmes constatations (85).

De cet exposé relatif à la répartition des cellulases dans le règne animal et végétal, il ressort que la cellulolyse dans le tube digestif de l'homme peut avoir une double origine. D'une part, l'homme ingère les cellulases contenues dans ses aliments, d'autre part, l'intestin humain héberge des organismes cellulolytiques.

Notons d'abord que BUNGE (7) avait pensé que la diastase qui hydrolyse la cellulose provenait des cellules épithéliales de l'intestin. Selon BROWN (5), la cellulolyse était due aux cellulases ingérées. SCHEUNERT (74,75) s'était élevé contre cette opinion. Pour cet auteur, la désintégration de la cellulose est causée par des bactéries.

La découverte de micro-organismes très spécialisés, se multipliant facilement dans le milieu intestinal, l'inactivité des filtrats de fèces actives démontrent que la cellulolyse intestinale, chez l'homme, est essentiellement un phénomène microbien.

II - PRODUITS FORMES AU COURS DE LA DEGRADATION DE LA CELLULOSE DANS LE TUBE DIGESTIF.

En ensemençant un milieu de culture contenant du coton avec des bactéries intestinales, TAPPEINER (82) obtient des gaz (gaz carbonique et méthane) et des acides gras (acétique, butyrique, valériannique). HOPPE-SEYLER emploie le papier filtre et retrouve les mêmes gaz, mais non les acides. Par contre, l'auteur obtient une substance comparable à de la dextrine (25). On sait que la cellulase hydrolyse la cellulose en fournissant du cellobiose que PRINGSHEIM a mis effectivement en évidence dans les liquides de fermentation de la cellulose, en stoppant les fermentations en pleine activité par addition d'antiseptique. Mais, même en culture pure, comme les recherches de KHOUVINE l'ont montré, ni le cellobiose, ni le glucose qui en dérive, après action d'une cellobiase, ne peuvent être décelés, car ces sucres sont immédiatement dégradés et ce sont les produits finaux de la fermentation que l'on retrouve abondamment : des gaz (gaz carbonique, méthane, hydrogène) et des acides acycliques parmi lesquels les acides volatils prédominent (formique, acétique, propionique, butyrique) ainsi que, selon PRINGSHEIM, de petites quantités d'acide lactique et d'alcool éthylique (54).

Dans l'intestin, on assiste aux mêmes phénomènes. Ces gaz et ces acides organiques sont abondants dans les fèces des animaux et de l'homme soumis à des régimes alimentaires bien pourvus en cellulose.

III - NIVEAU DE LA CELLULOLYSE CHEZ L'HOMME

A quel niveau du tube digestif cette dégradation de la cellulose a-t-elle lieu ?

L'existence, dans les fèces, de bactéries cellulolytiques indique que la cellulolyse doit avoir lieu au plus tard dans le gros intestin. Mais les travaux de Van der REIS et GOSMANN, de STRAUSS ont montré que l'attaque de la cellulose, chez l'homme, pouvait se faire bien avant le coecum, dès les parties supérieures de l'intestin grêle. Les premiers auteurs, au moyen de capsules, font des prélèvements du contenu des parties supérieure, moyenne et inférieure de l'intestin grêle, ainsi que du gros intestin et trouvent dans tous les cas une flore bactérienne cellulolytique (85). STRAUSS a constaté la cellulolyse chez des individus privés de leur gros intestin (81).

IV - INTENSITE DE LA CELLULOLYSE.

Des travaux, peu nombreux, ont permis de déterminer les coefficients de digestibilité de la cellulose, c'est-à-dire le rapport entre le poids de cellulose disparue au cours du transit intestinal et le poids total de la cellulose contenue dans la ration alimentaire. L'impossibilité actuelle de doser avec certitude toute la cellulose pure, indépendamment de toute autre substance, la présence, dans l'intestin, d'après certains auteurs (15), de cellulose colloïdale échappant facilement aux dosages, nous permettent d'accepter les résultats des expériences avec une certaine réserve.

Les premiers essais sur l'homme concernant la digestibilité de la cellulose remontent à 1870, date à laquelle WEISKE, par la méthode de WEENDE, constate que la cellulose de certains légumes (carottes, choux, céleris cuits) disparaît dans la proportion de 47 à 63 p. 100. Par le même procédé analytique, Von KNIEREM (34) montre que la cellulose brute est attaquée en proportion variable. L'auteur constate que, chez l'homme comme chez l'animal, la cellulose des tissus jeunes disparaît de l'intestin en proportion plus grande que celle des tissus lignifiés.

Les travaux de WICKE portent sur les céréales et montrent une cellulolyse plus intense lorsque la proportion des membranes végétales ingérées diminue (91).

Ces travaux sont réalisés par la méthode de WEENDE et ne valent donc que pour la cellulose brute. LOHRISCH (40), - utilisant la méthode de SIMON et LOHRISCH de dosage de la cellulose par dissolution dans une lessive de potasse et précipitation par l'alcool -, constate une cellulolyse importante, surtout dans le cas des légumes frais. L'auteur remarque que les coefficients de digestibilité de la cellulose de même origine varient sensiblement avec les individus.

Notons que la durée de ces différentes expériences est très courte, en général de 1 ou 2 jours.

La question de l'intensité de la cellulolyse chez l'homme a fait l'objet de la part de RUBNER, d'une série d'importants travaux. Les expériences de RUBNER mettent en oeuvre, le plus souvent, des régimes très exclusifs. L'aliment examiné constitue, autant que possible, la totalité de la ration journalière. C'est ainsi que, dans certaines de ses recherches, il fait ingérer aux sujets en expérience, en moyenne 2.618 grammes de pommes de terre par jour ou 2.500 grammes de choux ou de pommes (64, 66, 71) On comprend que, dans de telles conditions, la durée des expériences soit assez courte.

RUBNER dose la cellulose contenue dans les ingesta et les excréta par la méthode de HOFFMEISTER (23) qui consiste en un traitement par un mélange de chlorate de potassium et d'acide nitrique, suivi d'un lavage à l'ammoniaque.

Pour les légumes, RUBNER trouve un coefficient de digestibilité élevé. Il est de plus de 88 p. 100 pour la pomme de terre (71). Pour les légumes et les fruits, l'auteur (68) trouve un taux de résorption moyen de 82 p. 100.

En ce qui concerne le chou de Milan, le taux de la cellulolyse est de 87 p. 100 (64); ce taux est de 90 p. 100 pour la carotte (63), de 83 p. 100 pour le chou-navet (rutabaga) (65), de 78 p. 100 pour la pomme (66). Pour diverses sortes de pains, faits avec différentes farines, RUBNER donne, en moyenne, pour la cellulose, 39 p. 100 (68). En moyenne, l'auteur considère que la digestibilité de la cellulose des légumes et des fruits est de 79 p. 100 et qu'elle peut dans certains cas s'élever sensiblement.

La digestibilité de la cellulose du pain a fait l'objet des travaux de JANSEN et MULLER (29). Ces auteurs expérimentent sur 6 hommes adultes et comparent l'influence des divers pains sur leur nutrition. Le régime de base auquel les différents pains sont ajoutés apportant des quantités considérables de membranes et, surtout, les auteurs ne déterminant que la cellulose brute, les résultats n'ont qu'une valeur comparative. Alors que, pour la période au pain blanc, le taux de dégradation de la cellulose brute du régime total varie selon les sujets de 79 à 90 p. 100, pour un pain de guerre fait avec une farine mixte de blé et de seigle, peu blutée, ces coefficients s'abaissent entre 65 et 81 p. 100.

Le sort des celluloses d'origines diverses a fait également l'objet des travaux de SCHMIDT-OTT (76). L'auteur fractionne le contingent glucidique des aliments et des fèces en deux parties : l'une comprenant les sucres solubles et les glucides facilement hydrolysables (par l'acide chlorhydrique à 2 p. 100) c'est-à-dire l'amidon et une proportion importante des hémicelluloses et des pectines, l'autre correspondant approximativement à la cellulose, dosée d'après les quantités de glucose obtenues après hydrolyse par l'acide chlorhydrique concentré, selon la technique de WILLSTATTER et ZEICHMEISTER.

Voici pour différents aliments les taux de résorption de ces deux groupes de glucides :

	<u>CELLULOSE</u>	<u>GLUCIDES</u> <u>FACILEMENT HYDROLYSABLES</u>
Salade d'endive	52	87,5
Pois	69	98
Choux	47	80
Pain de seigle (haut taux d'extraction)	50	93

Le sort de la cellulose dans le tube digestif a fait l'objet de quelques travaux récents, s'appuyant sur des déterminations analytiques effectuées par la technique de WILLIAMS et OLMSTED (92). Ces auteurs ont appliqué leur méthode au cours d'une expérience très spéciale, caractérisée par une ingestion de produits artificiellement concentrés en membranes végétales (93). Avec le son de blé, le taux de la cellulolyse, pour chacun des trois hommes en expérience, était respectivement de 33,6, 24 et 33 p. 100. Pour les carottes, les taux de dégradation étaient 72,5, 62,3 et 65,6 p. 100, pour le chou 61,3, 43,5 et 59,2 p. 100, pour le pois 40, 44,8 et 49 p. 100. Le régime de base auquel ces aliments étaient ajoutés ne contenait pratiquement pas de cellulose.

Sur des enfants, SHEPHERD, HUMMEL et MACY trouvent un taux de cellulolyse variant de 59 à 91 p. 100 (78). Notons que dans cette expérience, les taux de l'hémicellulolyse sont sensiblement inférieurs à ceux de la cellulolyse.

Dans une autre expérience, réalisée sur 18 enfants, âgés de 4 à 12 ans, ces mêmes auteurs, utilisant une alimentation naturelle, constatent un taux de cellulolyse variant suivant les sujets de 54 à 85 p. 100 (26).

Chapitre II

FACTEURS AGISSANT SUR LE COEFFICIENT DE DIGESTIBILITE DE LA CELLULOSE.

I - INFLUENCE DE LA STRUCTURE DES MEMBRANES

L'examen des coefficients de digestibilité, fournis par les auteurs que nous venons de citer, fait ressortir une différence fondamentale entre les chiffres obtenus. La cellulose des légumes et des fruits frais est très fortement désintégrée, presque totalement dans certains cas, au cours du fonctionnement digestif normal de l'homme adulte. La cellulose du pain et des légumes secs offre beaucoup plus de résistance et on peut, en moyenne, compter que la moitié à peine des quantités ingérées n'est pas retrouvée dans les matières fécales.

Les membranes fortement épaissies et lignifiées de la couche à aleurone du grain de blé ne subissent aucune atteinte sérieuse au cours des phénomènes digestifs et sont retrouvées intactes dans les fèces (61). Nous verrons qu'une cellulose purifiée, celle du papier filtre par exemple, n'est pas sensiblement affectée par les phénomènes digestifs.

Il semble bien que le degré de lignification des membranes végétales soit, en partie, à l'origine de ces différences. Remarquons toutefois que le degré de lignification n'explique pas la passivité du milieu intestinal envers le papier filtre.

D'autre part, RUBNER (69), puis WOODMAN et STEWART (95) ont montré par des expériences sur l'animal que la digestibilité des fourrages pouvait se trouver diminuée sans que le taux de lignine ait sensiblement augmenté.

L'influence de la lignine sur la digestibilité de la cellulose par l'animal est connue depuis longtemps et WAENTING et GIERISCH (86) ont montré que le poids de chlore fixé par un aliment du bétail pouvait servir à évaluer sa digestibilité. Or le poids de chlore fixé croît avec les quantités de lignine présentes.

II - INFLUENCE DU REGIME ALIMENTAIRE.

La plupart des travaux entrepris pour déterminer l'influence du régime alimentaire sur la digestibilité de la cellulose ont été effectués sur l'animal et les résultats obtenus sont parfois contradictoires, ce qui empêche de les étendre au cas de l'homme.

Cependant, sur l'homme, Von KNIEREM montre qu'un régime fortement carné abaisse considérablement la digestibilité de la cellulose (34).

Chez l'homme, nous manquons d'information au sujet d'une régression des coefficients de dégradation de la cellulose par une surcharge du régime en glucides facilement assimilables. En général, une telle régression existe chez l'animal en dépit de quelques résultats discordants. On explique cette diminution dans l'utilisation de la cellulose par une sorte de théorie du moindre effort microbien, ces organismes choisissant les glucides les plus aisément fermentescibles. La découverte chez l'homme d'une bactérie spécifique, attaquant la cellulose à l'exclusion de tout autre glucide, s'oppose pourtant à cette conception.

La quantité de cellulose ingérée a une influence sur le pourcentage de son utilisation digestive. Plusieurs auteurs ont trouvé un abaissement du taux de la cellulolyse quand la proportion de son augmente dans le pain (29, 49).

Les caractères du régime alimentaire habituel ont une influence sur le taux de dégradation de la cellulose; les végétariens présentent des coefficients de digestibilité plus élevés (2).

III - INFLUENCE DU FACTEUR INDIVIDUEL.

L'adjonction au régime du nourrisson de poudre d'épinards a conduit RUBNER (62) à démontrer la non-utilisation de la cellulose au premier âge. Mais les travaux de HUMMEL, SHEPHERD et MACY ont montré que, chez des jeunes enfants de 4 à 5 ans, le taux moyen de disparition intestinale des constituants spécifiques des membranes d'origine diverse - céréales, légumes frais et fruits - était important. Ce taux semble cependant inférieur, en moyenne, à celui de l'adulte, et surtout soumis à des variations plus fortes d'un sujet à l'autre. Les variations dans le coefficient de disparition de la cellulose sont également très grandes pour un même enfant pris à des moments différents d'une longue expérience (26).

Presque tous les auteurs qui ont étudié la digestibilité de la cellulose chez l'adulte sain ont conclu à l'existence de différences individuelles. Les variations du taux de cellulolyse sont généralement plus grandes que celles des coefficients de digestibilité des autres composants du régime. Les résultats que nous avons obtenus au cours de diverses expériences nous ont montré qu'il en était souvent ainsi, mais que, parfois, les coefficients de digestibilité de la cellulose ne variaient pas, d'un individu à l'autre, davantage que les coefficients apparents d'utilisation digestive de l'azote, par exemple.

D'après un travail antérieur, réalisé en collaboration avec L. RANDOIN et DIGAUD, nous avons calculé les coefficients de digestibilité de l'azote et de la cellulose brute (55). L'azote était déterminé par le dosage de l'azote total, la cellulose par la méthode de WEENDE. Les résultats de ces calculs figurent dans le tableau I. Ces chiffres représentent les coefficients extrêmes et moyens de 4 sujets, 2 femmes et 2 hommes.

Tableau I

	Coefficients de digestibilité	
	Chiffres extrêmes	Moyenne
<u>1ère phase</u>		
Régime à 18,8 g. de cellulose brute apportée par des légumes		
Coefficient de digestibilité de la cellulose	86 et 89,2 %	88,3 %
Coefficient de digestibilité de l'azote	81,8 et 89,2 %	84,9 %
<u>2ème phase</u>		
Régime à 18,8 g. de cellulose brute des légumes et à 4,6 g. de cellulose brute du pain		
Coefficient de digestibilité de la cellulose	71 et 75 %	73,5 %
Coefficient de digestibilité de l'azote	76 et 81 %	78,9 %

Mais il faut noter que la méthode de WEENDE ne fournit des renseignements, très approximatifs, que sur la digestibilité de la cellulose. Il est probable que si l'ensemble des constituants des membranes végétales était dosé, les résultats seraient plus divergents d'un sujet à l'autre.

Dans une autre expérience (x), nous avons trouvé que le facteur individuel avait une influence notable sur la digestibilité de la cellulose. Deux sujets adultes, soumis depuis longtemps à un même régime étudié pour qu'il maintienne l'individu dans un bon état d'équilibre énergétique, minéral et autant que possible vitaminique, ont présenté des différences plus importantes dans le taux de dégradation de la cellulose que dans

(x) - Pour les détails techniques concernant cette expérience, se reporter à la 4ème partie de ce travail. - Consulter également le tableau VI, p. 52.

celui de l'utilisation digestive de l'azote. La cellulose est dosée par la méthode de WILLIAMS et OLMSTED. Il s'agit de cellulose du grain de blé, consommé sous forme de pain fait avec une farine au plus haut taux d'extraction (pratiquement 100 p. 100).

<u>Coefficients de digestibilité apparents</u>	<u>1er sujet</u>	<u>2ème sujet</u>
Période C Cellulose	28 %	39,7 %
Période C Azote	81,5 %	81 %

Dans une autre période expérimentale où les parties périphériques du grain de blé (sons et remoulages) avaient été épuisées à l'eau, avant d'être incorporées à la farine, nous avons obtenu les résultats suivants :

<u>Coefficients de digestibilité apparents</u>	<u>1er sujet</u>	<u>2ème sujet</u>
Période E Cellulose	22 %	27 %
Période E Azote	82,4 %	83,1 %

WILLIAMS et OLMSTED (93), sur trois sujets en expérience, constatent, dans certains cas, des différences considérables dans les coefficients de digestibilité. Les quantités de cellulose ingérée sont ici beaucoup plus fortes que dans nos expériences personnelles.

Quelle est la cause de ces variations individuelles dans le taux de dégradation de la cellulose ? Le temps d'action des micro-organismes, c'est-à-dire la vitesse du transit intestinal, semble pouvoir être à l'origine des phénomènes constatés. Dans les dernières expériences personnelles dont nous venons de donner des résultats, nous avons trouvé un taux de cellulolyse plus fort chez le sujet dont le transit est le plus lent. LORISCH (40) avait montré déjà que le taux de dégradation de la cellulose était plus élevé dans les cas de constipation où le transit intestinal est plus long que dans les cas de diarrhée.

IV - INFLUENCE DE LA GROSSEUR DES PARTICULES CELLULOSIQUES INGÉREES.

Cette question a fait l'objet de nombreux travaux sur l'animal où elle est d'une importance particulière. A la lecture des exposés de MANGOLD, on remarque que les auteurs ne sont pas tous du même avis (46,47).

Chez l'homme, l'influence de la finesse de la mouture a été peu étudiée. L'examen des résultats obtenus par RUBNER (70), avec une farine contenant 10 p. 100 de balle de blé, montre que le recouvrement de la cellulose dans les fèces est de 60 p. 100, pour une mouture fine, de 76 p. 100, pour une mouture grossière, de 79 p. 100, pour un mélange de ces 2 types de mouture. Les résultats ne sont donc pas réguliers. Dans une autre expérience, réalisée avec de la paille de blé, RUBNER (67) montre que la finesse de la mouture ne semble pas avoir d'influence notable sur la digestibilité de la cellulose.

Pour un pain fait avec une farine complète de blé finement moulue, MACRAE et ses collaborateurs trouvent un taux de disparition de la cellulose brute de 14 p. 100. Le taux s'abaisse à 9,7 p. 100 avec une farine grossière de même origine (45).

V - INFLUENCE DES METHODES DE DOSAGE EMPLOYEES SUR L'EVALUATION DU TAUX DE LA CELLULOLYSE .

La comparaison de certains résultats fournis par les travaux relatifs au taux de la cellulolyse laisse prévoir, en dépit de l'existence d'autres facteurs de variations, que la méthode de dosage de la cellulose employée par différents chercheurs doit avoir une grande influence.

En général, les déterminations faites par la méthode de WEENDE donnent des chiffres nettement inférieurs à ceux obtenus par une méthode plus spécifique. Ceci ne signifie pas, d'après ce que nous savons de la valeur respective des méthodes, que pour la cellulose seule, ces dernières déterminations soient meilleures.

Les travaux de MACRAE et de ses collaborateurs viennent de nous montrer dans le cas de la cellulose brute du blé, que le coefficient de disparition intestinale était faible, de l'ordre de 12 p. 100 (45). Des expériences personnelles nous révèlent, pour des dosages effectués par la méthode de WEENDE, des coefficients de 12 et de 6 p. 100 (voir tableau VI, périodes C et E, p. 52). Dans cette même expérience, nous avons trouvé, respectivement pour ces mêmes périodes, des taux de cellulolyse de 34 et 25 p. 100, en moyenne, lorsque le dosage est effectué selon la méthode de WILLIAMS et OLMSTED. Ces coefficients sont des moyennes obtenues sur deux sujets en expérience.

Pour montrer, d'une façon simple, quelle pouvait être l'incidence du mode de détermination employé sur le taux de la cellulolyse, nous avons effectué sur l'animal deux séries d'expériences.

Première série d'expériences :

2 rats blancs, mâles (I) et (II), recevaient chaque jour 15 g. du régime suivant:

Son de blé (à 10,8 p. 100 d'eau)	90 g.
Caséine	8 g.
Lactate de calcium	1 g.
Chlorure de sodium	1 g.

Deux jours avant la mise en expérience des animaux, et un jour après, les rats étaient nourris exclusivement avec de la farine blanche, afin de pouvoir nous assurer de la présence dans les excréta de tous débris cellulosiques correspondant à l'ingestion du son. Dès le moment où le son était donné aux animaux, jusqu'au lendemain du jour où l'ingestion du son était terminée, les fèces étaient recueillies, séchées à l'étuve à 100°, pesées, pulvérisées au moulin turc, soigneusement homogénéisées et remises à l'étuve. Les analyses ont été faites sur le mélange des excréta de trois jours consécutifs. Les rats n'ayant pas consommé chaque jour toute leur ration, la fraction non ingérée était recueillie et pesée afin de connaître la quantité de régime effectivement consommée. Les rats ont été soumis au régime pendant 12 jours. Pour une

Tableau II

	Rat I	Rat II
<u>1° - Ingesta</u>		
Poids sec du son ingéré	154 g. ...	104 g.
Cellulose brute (WEENDE)	17 g. ...	11,4 g.
Indice formique	27,9 g. ...	19 g.
(Cellulose	18,1 g. ...	12,2 g.
WILLIAMS (Hémicelluloses	39,7 g. ...	26,7 g.
(Lignine	8,15 ...	5,5 g.
(		
(Total	65,95 ...	44,4 g.
<u>2° - Excréta</u>		
Poids sec des fèces	80,7 g. ...	52,4 g.
Cellulose brute (WEENDE)	14,7 g. ...	9,2 g.
Indice formique	22,2 g. ...	14 g.
(Cellulose	9,6 g. ...	6,5 g.
WILLIAMS (Hémicelluloses	20,7 g. ...	12,7 g.
(Lignine	8,3 g. ...	5,1 g.
(		
(Total	38,6 g. ...	24,3 g.
<u>3° - Taux de la cellulolyse.</u>		
Évaluée par la méthode de WEENDE	13 % ...	19 %
Évaluée par l'indice formique	21 % ...	26 %
Évaluée par la méthode de WILLIAMS		
(Cellulose	44 % ...	47 %
(Hémicelluloses	43 % ...	52 %
(Lignine	-1,5 % ...	7 %
Taux de dégradation intestinale des constituants spécifiques des membranes (cell. + hém. + lign.)	41,5 % ...	45 %

telle expérience, le choix des rats n'est pas indifférent. En effet, alors que certains animaux respectent leur nourriture, d'autres semblent s'ingénier à la répandre dans la cage, en s'aidant du museau ou des pattes antérieures. Plusieurs rats qui présentaient un tel penchant ont été éliminés, le régime répandu venant souiller les excréta, ce qui retirait toute valeur à l'expérience. Les poids des rats au début et à la fin de l'expérience ont été les suivants :

	<u>Avant</u>	<u>Après</u>
Rat I	243 g	223 g
Rat II	235 g	201 g

On constate, surtout chez le rat II, un amaigrissement considérable.

Le dosage des composants des membranes, déterminé par diverses techniques, a donné, pour 100 g. de son sec, les chiffres suivants :

Cellulose brute (WEENDE) 11 g.
Indice formique 18,2 g.

Méthode de Williams :

Cellulose 11,8 g.
Hémicelluloses 25,8 g.
Lignine;..... 5,3 g.

Total 42,9 g.

Les résultats des dosages de cellulose dans les ingesta et les excréta, ainsi que le taux calculé de la cellulolyse sont consignés, globalement, dans le tableau II.

Ainsi, lorsque tous les autres facteurs de variation sont mis hors de cause, le taux de la cellulolyse varie beaucoup selon la technique employée.

Pour nous assurer qu'il ne s'agissait pas d'un cas exceptionnel, nos chiffres ne se rapportant qu'à deux rats, nous avons jugé utile d'expérimenter à nouveau.

Deuxième série d'expériences :

La marche générale de ces expériences, les méthodes de dosage de la cellulose, sont les mêmes que dans le cas précédent. Seuls les régimes diffèrent, du blé grossièrement moulu remplaçant le son. Voici la composition du nouveau régime employé :

Blé moulu (12,1 p. 100 d'eau) 90 g.
Caséine 8 g.
Lactate de calcium 1 g.
Chlorure de sodium 1 g.

Tableau III

	Rat I	Rat II
<u>1° - Ingesta</u>		
Poids sec de blé ingéré	273 g.	283 g.
Cellulose brute (WEENDE)	5,6	5,8
Indice formique	10,1	10,5
WILLIAMS (Cellulose	6,5	6,7
(Hémicelluloses	13	13,4
(Lignine	2,73	2,83
(		
(Total	22,23	22,93
<u>2° - Excréta</u>		
Poids sec des fèces	34,3	33,9
Cellulose brute (WEENDE)	4,9	4,9
Indice formique	8,4	8,3
Méthode au furfural : hémicelluloses	7,5	
WILLIAMS (Hémicelluloses	6,7	6,5
(Cellulose	2,93	2,82
(Lignine	2,5	2,5
(		
(Total	12,13	11,82
<u>3° - Taux de la cellulolyse</u>		
Évalué par la méthode de WEENDE	12,5 %	15,5 %
Évalué par l'indice formique	17 %	21 %
Évalué par la méthode de WILLIAMS		
(Cellulose	55 %	58 %
(Hémicelluloses	48 %	52 %
(Lignine	9 %	12 %
Taux de dégradation intestinale des membranes végétales (cellul. + héli. + lign.)	45 %	48 %

Deux rats blancs adultes recevaient chaque jour environ 20 grammes du régime exactement pesés. Les mêmes précautions que dans la première expérience étaient prises afin d'obtenir tous les résidus de la digestion des membranes correspondant à l'ingestion du régime.

L'analyse du blé moulu, par différentes techniques de dosage, donne les valeurs suivantes pour 100 g. de produit sec :

Cellulose brute (WEENDE)	2,04 g.
Indice formique	3,7 g.

Méthode de Williams :

Cellulose	2,38 g.
Hémicelluloses	4,76 g.
Lignine	1 g.

Total	8,14 g.
-------------	---------

Les rats ont été soumis au régime pendant 18 jours.

Ces deux expériences, dans lesquelles les régimes alimentaires sont pour la première à base de son, pour la seconde à base de blé, conduisent aux mêmes conclusions essentielles :

1° Il existe de très fortes variations entre les taux de cellulolyse déterminés par des méthodes d'analyse différentes.

2° Des variations individuelles dans le taux de cellulolyse peuvent être constatées dans toutes les déterminations. Mais, comme nous l'avons noté pour l'homme, elles sont assez peu importantes et très inférieures aux variations dues à un changement de méthode de dosage.

3° Ces deux expériences nous permettent de juger de l'influence du régime sur les coefficients d'utilisation de la cellulose. Le remplacement d'un certain poids de son par le même poids de blé équivaut à diminuer considérablement les quantités de cellulose ingérée et à augmenter la proportion des glucides digestibles. L'on admet généralement, comme nous l'avons déjà vu, que la première modification conduit à un accroissement de la cellulolyse et la seconde à un abaissement.

La comparaison entre les taux de la cellulolyse déterminés par ces deux expériences (voir les tableaux II et III) nous montre que ces deux influences contraires - ration appauvrie en membranes végétales et enrichie en glucides assimilables - semblent ici se compenser puisque les résultats sont de même ordre. Si l'on voulait attribuer à chacun des chiffres obtenus une valeur absolue, on pourrait remarquer que le changement de régime provoque une légère augmentation de la cellulolyse calculée d'après les résultats fournis par la méthode de WEENDE ou par la détermination de l'indice formique, et une légère diminution si la même opération est effectuée d'après

les données de la méthode de WILLIAMS. Ces constatations paradoxales s'expliquent par les différences fondamentales existant entre la composition chimique des produits dénommés cellulose brute, indice formique et cellulose de WILLIAMS, points sur lesquels nous avons insisté antérieurement. Mais de tels faits permettent de n'accepter qu'avec une certaine réserve les conclusions des quelques travaux qui ont été consacrés au sort de la cellulose dans le tube digestif de l'homme.

4° Nous n'avons pas retrouvé, dans ces expériences, l'identité signalée par GUILLEMET et JACQUOT entre l'indice formique des aliments et celui des fèces, ce qui permettait aux auteurs d'affirmer que l'indice formique alimentaire correspond à l'indigestible glucidique (I7).

De cette étude des facteurs intervenant dans la cellulolyse, retenons l'influence profonde de la structure des membranes, plus particulièrement du degré de lignification. La composition du régime alimentaire joue également un rôle que nous essaierons de préciser. L'individu lui-même, soumis à un régime constant, ne réagit pas toujours de la même façon et à plus forte raison existe-t-il des différences entre individus dans le taux de dégradation de la cellulose. Nous avons vu aussi que, lorsqu'on ne fait varier aucun de ces facteurs, les méthodes de dosage employées conduisaient à des divergences considérables dans l'estimation du taux de la cellulolyse.

Les expériences tentées sur l'homme, en vue de déterminer la proportion de cellulose dégradée au cours du transit digestif, sont caractérisées dans leur ensemble par l'emploi de régimes alimentaires très variés et de méthodes de dosage souvent très différentes. Si, à ces causes de divergences dans les résultats des expériences on ajoute celles inhérentes à la structure des membranes et au facteur individuel, sur lequel on ne peut agir, on comprendra sans peine qu'il n'y a pas de comparaison possible entre les chiffres obtenus par différents expérimentateurs et que les données recueillies n'ont que la valeur d'indications.

Chapitre III.

LE SORT DES HEMICELLULOSES AU COURS DU TRANSIT DIGESTIF.

I - IMPORTANCE DE LA QUESTION.

Les renseignements concernant le sort des hémicelluloses dans le tube digestif sont infiniment moins nombreux que ceux concernant la cellulose.

Pour MANGOLD (46), le problème de l'hémicellulolyse serait très secondaire à côté de celui de la cellulolyse, l'homme adulte ne consommant journellement que quelques grammes d'hémicelluloses. Nous ne pouvons nous ranger à ces vues, les travaux de certains auteurs (93,94) et nos propres analyses nous ayant montré que les aliments végétaux contiennent en général des quantités de cellulose et d'hémicelluloses assez voisines.

D'un travail de RUBNER (68), nous extrayons le tableau IV qui indique la proportion de membranes cellulaires contenues dans 100 grammes d'aliment sec, ainsi que le pourcentage de cellulose et de pentosanes contenus dans 100 grammes de membranes.

Tableau IV

	Membranes	Cellulose	Pentosanes	reste
Légumes-racines	20	48	23	29
Pommes de terre	5,6			
Légumes-feuilles	30	44	21	35
Fruits	entre 6 et 25	33	33	33
Céréales				
Blé et orge	8,1			
Son	67			
Fine farine	2			

Une fraction importante de l'indéterminé des membranes (voir tableau IV.colonne: reste) est formée certainement d'hémicelluloses uroniques que le dosage par la méthode au furfural, employée par RUBNER pour évaluer les pentosanes, ne peut atteindre qu'en partie. De ce fait, les hémicelluloses sont en général plus abondantes que le chiffre de pentosanes ne le laisse supposer.

D'ailleurs, les travaux récents indiquent l'existence d'une forte proportion d'hémicelluloses. C'est ainsi que nous extrayons d'un travail de WILLIAMS et OLMSTED (93) ces données relatives aux teneurs de quelques aliments en cellulose et hémicelluloses. Ces chiffres n'ont qu'une valeur comparative, les aliments ayant subi, avant l'analyse, un long épuisement à l'eau, afin d'accroître leur proportion en membranes.

	<u>Cellulose</u>	<u>Hémicelluloses</u> <u>totales</u>
Son de blé	16,9 %	35,2 %
Germes de maïs	15,8 %	30,8 %
Carottes	23,2 %	28,8 %
Chou	29,5 %	28,3 %

Dans un autre travail, WILLIAMS et ses collaborateurs (94) établissent la teneur de certains légumes séchés à l'air, en cellulose et hémicelluloses :

	<u>Humidité</u>	<u>Cellulose</u>	<u>Hémicelluloses</u> <u>totales</u>	<u>formes</u> <u>labiles</u>
Carottes	12,7 %	8,2 %	8,7 %	2,2 %
Pommes de terre.	6,2 %	1,7 %	1 %	0 %
Pois frais	6,2 %	4,4 %	9 %	2 %
Chou	21,6 %	8,8 %	10,3 %	5,1 %
Navet	15,6 %	5,5 %	5,7 %	1,2 %
Epinard	4,7 %	4,6 %	9,9 %	5,2 %

Nous avons acquis la conviction que les hémicelluloses labiles correspondent, au moins en partie, à des matières pectiques. En dépit de ce fait, les résultats d'analyses de végétaux révèlent souvent la prédominance des hémicelluloses et, parfois, dans le cas du blé, base alimentaire, les quantités d'hémicelluloses présentes sont deux fois plus grandes que celles de cellulose. Dans ces conditions, nous ne voyons pas pourquoi l'étude des rapports entre les membranes végétales et la nutrition de l'homme aurait moins d'intérêt à être envisagée du point de vue des hémicelluloses que de celui de la cellulose..

II - CAUSES DE LA DISPARITION DES HÉMICELLULOSES DANS LE TUBE DIGESTIF DE L'HOMME.

1° Action des sucs digestifs

A) Action due au pH des sucs digestifs.

Alors que sur la cellulose, la réaction des sucs digestifs est sans influence, nous avons montré dans une autre étude (13) qu'il n'en est pas de même pour les hémicelluloses. C'est ainsi qu'un milieu de même acidité que ceux employés pour les digestions gastriques artificielles, à la propriété de faire passer certaines substances pectiques ou hémicellulosiques en solution. Ce phénomène est important dans le cas des légumes frais; il est encore net pour les hémicelluloses plus résistantes des parties périphériques du grain de blé. Nous avons vu que la durée d'action du milieu gastrique artificiel influe grandement sur les quantités d'hémicelluloses dissoutes, la perte d'hémicelluloses en 24 heures étant beaucoup plus forte qu'après 6 heures d'action. Nous avons montré également sur le son et sur la carotte que le pouvoir dissolvant n'était pas dû à l'action des enzymes gastriques, les phénomènes observés étant les mêmes avec ou sans diastases (13). Sans qu'il soit facile de chiffrer, in vivo, l'intensité de cette amorce de digestion chimique, on peut néanmoins penser qu'elle existe et qu'elle est d'autant plus importante que le temps d'action et l'acidité sont plus grands.

S'agit-il seulement de dissolution des hémicelluloses ? Existe-t-il, en plus, une hydrolyse libérant des sucres assimilables ?

Du son de blé est privé de ses substances digestibles par action de la pancréatine en milieu légèrement alcalin ($\text{pH} = 8$). Le résidu est traité pendant 6 heures à l'étuve à 45° , par une solution chlorhydrique à $\text{pH} = 3$. Le pouvoir réducteur du liquide de digestion artificielle a ensuite été déterminé, avant et après une hydrolyse acide réalisée à l'ébullition pendant une heure. Les sucres dosés sont exprimés en g. de substances pour cent grammes de son sec.

	<u>Cellulose</u>	<u>Hémicelluloses</u>
Pouvoir réducteur		
direct	0	0,84
Pouvoir réducteur		
après hydrolyse..	0,24	1,44

On voit que le liquide de digestion a un pouvoir réducteur notable qui s'accroît à l'hydrolyse. Il semble donc y avoir, pendant la digestion, dissolution des hémicelluloses, sans que leurs sucres constitutifs soient complètement libérés.

Nous avons vu que les substances hémicellulosiques et particulièrement les hémicelluloses uroniques étaient facilement dissoutes dans les liquides alcalins (13). Un pH = 8 a déjà une influence marquée sur certaines hémicelluloses particulièrement labiles, telles que celles des légumes et des fruits frais. Ce fait a été signalé par WILLIAMS et OLMSTED et nous avons constaté qu'il était exact mais qu'il s'agissait sans doute de matières pectiques, substances que ces auteurs classent parmi les hémicelluloses. Mais, contrairement aux vues anciennes, on sait que le p.H de l'intestin est normalement compris entre 6 et 7. Il est donc peu probable que la solubilisation des hémicelluloses se poursuive au delà de l'estomac.

B) Action des diastases digestives de l'homme.

Comme dans le cas de la cellulose, les diastases de l'estomac, de l'intestin et de ses glandes annexes semblent étrangères à la disparition des hémicelluloses des aliments en transit dans le tube digestif. Lorsque, par des digestions artificielles effectuées dans diverses conditions, nous avons constaté une dissolution d'hémicelluloses elle était le fait de la réaction chimique du milieu. Les diastases que nous avons employées (pepsine et pancréatine) proviennent d'animaux supérieurs et, bien que la preuve directe n'en ait pas été faite, il est permis de penser que les diastases digestives de l'homme sont sans action sur les hémicelluloses.

De cet ensemble de données concernant l'action des sucs digestifs, il ressort que les hémicelluloses subissent une dissolution du fait de l'acidité du contenu gastrique. Cependant, l'intensité de ce phénomène nous paraît trop faible pour expliquer complètement la disparition de fortes proportions d'hémicelluloses.

2° Action des diastases spécifiques.

La part que prennent des diastases spécifiques ou hémicellulases dans la disparition des hémicelluloses du tube digestif est encore obscure. L'insuffisance de nos connaissances concernant la composition et la structure de beaucoup de substances rassemblées sous le nom d'hémicelluloses et qui sont, en fait, des mélanges, s'oppose à toute étude générale. Existe-t-il une seule diastase capable d'hydrolyser l'ensemble du groupe complexe des hémicelluloses ou, plutôt, plusieurs types d'hémicellulases sont-ils responsables chacun de l'hydrolyse d'une substance chimiquement bien définie? Les progrès réalisés dans l'isolement et le fractionnement du complexe hémicellulosique permet seulement d'aborder un problème dont les applications, dans certains domaines -et particulièrement celui de la conservation des bois-, peuvent être importantes.

Jusqu'ici, les renseignements que l'on peut trouver au sujet de l'hémicellulolyse se rapportent à des expériences portant sur des types particuliers d'hémicelluloses ou sur tout le complexe hémicellulosique sans qu'on ait pu, faute de moyens analytiques, établir ce que représentent chimiquement les fractions résistantes ou labiles.

3° Répartition des hémicellulases .

A) Les hémicellulases des végétaux.

a) Bactéries: Il existe dans le sol, le fumier et dans les fèces des animaux supérieurs, des bactéries capables d'utiliser les hémicelluloses en les décomposant.

WAKSMAN a montré, qu'en culture pure, de nombreuses bactéries et champignons peuvent attaquer les hémicelluloses de différentes substances : paille de blé, feuille de chêne (87).

D'autre part, SCHMIDT-OTT constate que des milieux de culture contenant des hémicelluloses et ensemencés avec une suspension de fèces de l'homme fermentent et qu'une certaine proportion d'hémicelluloses disparaît (76).

b) Champignons: On a constaté une diminution de la teneur en pentosanes pendant la fermentation du moût par la levure de bière. Pourtant l'arabinose n'est pas utilisé par la levure (19).

Les champignons ont à un très grand degré la faculté d'hydrolyser les hémicelluloses.

De nombreux champignons filamenteux du sol ont la propriété d'utiliser ces substances. Signalons aussi que WILLIAMS et OLMSTED (92), en essayant d'employer la taka-diastase -poudre fermentaire préparée à partir de l'*Aspergillus Orizea*-, pour des digestions artificielles de substances végétales, trouvent une perte en hémicelluloses de 31 p. 100. A partir de la même espèce, GRASMANN et RUBENBAUER (16) ont préparé une poudre fermentaire qui contient une cellulase et une hémicellulase. Nous avons dit, par ailleurs, qu'il existait dans les fèces diverses espèces de Micorinées, dont l'important système diastasique peut expliquer, en partie au moins, l'hémicellulolyse (22).

Les Hyménomycètes attaquent facilement certaines hémicelluloses : en ensemençant avec le mycélium de divers champignons, des milieux nutritifs contenant de la gomme adragante ou des hémicelluloses d'albumen de Caroubier (*Cératonia siliqua* L.) ou de *Gleditschia triacanthos* L., LUTZ constate une dissolution rapide de ces substances et l'apparition dans le milieu des sucres correspondant à leur constitution (42).

c) Végétaux supérieurs: Il semble que les végétaux supérieurs possèdent dans certains de leurs tissus des diastases hydrolysant des hémicelluloses. Ce qui est bien établi, c'est la présence dans l'embryon, au moment de la germination, de ferments capables de désintégrer les hémicelluloses. Au cours de recherches effectuées sur la diastase du malt, LUERS (41) a montré que cette poudre fermentaire contenait une diastase qui détruit une partie des hémicelluloses. Une macération de graines germées de certains palmiers présente aussi une forte activité hémicellulolytique. D'ailleurs, les mannanes qui sont abondants dans l'albumen de la graine de palmier sont utilisés par l'embryon au cours de la germination; ces mannanes sont de véritables substances de réserve.

B) Les hémicellulases des animaux.

a) Protozoaires: Certains auteurs pensent que les protozoaires du sol peuvent avoir une action destructrice vis à vis des hémicelluloses.

b) Invertébrés: Des hémicellulases ont été décelées dans le tube digestif de nombreuses espèces d'insectes par LEWIS et JEWELL (38).

Les sucs digestifs de l'escargot (*Hélix pomatia*), de l'écrevisse (*Astacus fluviatilis*), de l'araignée de mer (*Maia squinado*) et du homard (*Homarus vulgaris*) ont la propriété d'attaquer les mannanes (84).

c) Vertébrés: Ces animaux possèdent la propriété de digérer en partie les hémicelluloses, bien que leurs sécrétions digestives ne contiennent pas de ferments capables de provoquer ce phénomène. Aussi, admet-on que l'hémicellulolyse est due, chez ces organismes, à l'action d'une flore ou d'une faune intestinale symbiotique. En réalité, cette question n'a fait l'objet d'aucune étude spéciale et l'on raisonne par analogie d'après ce que l'on sait de la cellulolyse.

Chez les animaux supérieurs et chez l'homme, en particulier, l'existence d'une flore bactérienne nombreuse dans l'intestin et la présence signalée de certains champignons filamenteux laissent à penser que l'hémicellulolyse est bien un phénomène microbien, mais la preuve directe reste à faire. On sait seulement que des micro-organismes, bactéries et moisissures, contiennent des diastases capables d'hydrolyser les hémicelluloses, qu'une partie importante des hémicelluloses des aliments disparaît au cours du transit digestif, que les fèces de l'homme sont capables de faire fermenter les hémicelluloses, mais on n'a pas recherché si un filtrat à la bougie d'une suspension de fèces est inactif, comme dans le cas de la cellulose, et aucun organisme spécifique n'a été isolé.

Notons que les mannanes du Salep disparaissent complètement au cours du transit digestif de l'homme (84).

III - PRODUITS FORMES AU COURS DE L'HEMICELLULOLYSE.

NIVEAU ET INTENSITE DU PHENOMENE.

Le fait que les fèces de l'homme soient capables de faire fermenter les hémicelluloses laisse supposer que l'attaque microbienne a lieu dans les dernières parties de l'intestin, sans que la possibilité d'une action dès les premières sections de l'intestin soit à rejeter.

Il est probable, bien que nous n'ayons trouvé aucune information à ce sujet, que, dans l'intestin, les hémicelluloses sont fermentées, comme la cellulose, pour donner des gaz et des acides volatils divers.

IV - INTENSITE DE L'HEMICELLULOLOSE.

Contrairement à ce qu'on pourrait attendre de composés plus sensibles aux réactions chimiques, les hémicelluloses présentent un taux de dégradation intestinal voisin de celui de la cellulose.

C'est ainsi que pour les légumes et les fruits, RUEBER obtient les coefficients de dégradation suivants : 79 pour la cellulose, 81,8 pour les pentosanes et 82,8 pour le reste des membranes. Ce reste renferme aussi des hémicelluloses, à côté d'autres substances parmi lesquelles la lignine qui, nous le verrons, est très peu digestible (68).

WILLIAMS et OLSTED expérimentant sur 3 sujets adultes, trouvent, pour divers aliments, les coefficients de digestibilité suivants (93) :

	<u>Hémicelluloses</u>	<u>Cellulose</u>
son de blé	33 à 39 %	24 à 33 %
farine de germe de maïs	57,9 à 67,4 %	53,4 à 62 %
carotte	80 à 88,9 %	62,3 à 72,5 %
chou	79 à 80,5 %	43,5 à 61,3 %
pois	79,9 à 86,8 %	40 à 49 %

Pourtant, ces chiffres indiquent qu'en général l'hémicellulolyse est plus intense que la cellulolyse et que les différences légères pour des aliments provenant de céréales sont beaucoup plus marquées dans le cas des légumes frais.

D'une expérience de longue durée, réalisée sur 18 enfants de 4 à 12 ans, HUMMEL, SHEPHERD et MACY (26) tirent des conclusions assez différentes de celles qui découlent des travaux de WILLIAMS et OLSTED, puisque ces auteurs trouvent un taux de dégradation des hémicelluloses un peu inférieur à celui de la cellulose. Le régime alimentaire administré aux sujets est uniforme et naturel; les membranes végétales sont apportées par des aliments dérivés des céréales et par des légumes et des fruits. Les moyennes des taux de cellulolyse et d'hémicellulolyse de chacun des enfants ayant réagi le plus différemment sont les suivantes :

	<u>Hémicelluloses</u>	<u>Cellulose</u>
Taux moyen de dégradation		
le plus bas	49,2 %	54,2 %
Taux moyen de dégradation		
le plus haut	79,8 %	85,4 %

Il faut noter que, sur 18 sujets en expérience, l'enfant qui a fourni le taux d'hémicellulolyse le plus bas est aussi celui qui dégrade la moins grande proportion de cellulose. Il ne semble pas s'agir d'une simple coïncidence, puisque les mêmes constatations peuvent être faites en ce qui concerne celui des sujets qui dégrade le mieux, à la fois cellulose et hémicelluloses.

Dans notre expérience (x), les membranes du blé sont pratiquement la seule source de résidus indigestibles. Pour le pain complet, (mouture totale du grain de blé), le taux de dégradation était, pour un premier sujet, de 53 p. 100, pour le second de 48,7 p. 100 (voir tableau VI, période C). Nous avons vu, au cours de l'étude de la cellulolyse, que la cellulose disparaît, dans le même temps de l'expérience, dans les proportions de 28 & 39,7 p. 100. Pour un pain fait avec une farine extraite à 80 p. 100, additionnée des 20 centièmes complémentaires préalablement épuisés à l'eau, les hémicelluloses sont dégradées par les mêmes sujets dans les proportions respectives de 37 et de 48,2 p. 100, alors que pour la cellulose, les chiffres correspondants étaient de 22 & 27 p. 100 (voir tableau VI p. 52, périodes C et E).

V - FACTEURS INFLUENCANT L'HEMICELLULOLYSE.

Un examen des résultats fournis par les rares expériences tentées en vue d'étudier le sort des hémicelluloses au cours du transit digestif de l'homme ne permet pas toujours d'établir avec certitude l'influence des différents facteurs intervenant dans le phénomène de l'hémicellulolyse. Pourtant, chaque fois qu'une influence peut être notée, on constate qu'elle agit dans le même sens sur les hémicelluloses et la cellulose.

1° Influence de la structure des membranes.

Tous les travaux dont nous venons d'exposer les résultats révèlent que le taux de dégradation des hémicelluloses diffère suivant la nature des membranes où ces substances se trouvent engagées. C'est ainsi que les hémicelluloses des tissus tendres des légumes et des fruits subissent une attaque notablement plus intense que celles des tissus des parties périphériques du grain de blé, par exemple.

Il est possible, comme dans le cas de la cellulose, que cette différence puisse s'expliquer, au moins en partie, d'après le degré de lignification. Mais un autre facteur doit être considéré dans le cas présent : c'est la diversité chimique des substances groupées sous le nom d'hémicelluloses. Nous avons constaté lors de l'étude des constituants spécifiques des membranes végétales, qu'on était amené à scinder le complexe hémicellulosique en plusieurs fractions différant les unes des autres par leurs réactivités chimiques. Or, on peut affirmer que les fractions les plus fragiles envers les réactifs chimiques sont aussi celles qui résistent le moins à l'action du milieu digestif.

L'interprétation des travaux de RUBNER (68) pouvait conduire déjà à ces conclusions. Mais les résultats de l'expérience de HUMMEL, SHEPHERD et MACY permettent certainement d'établir que les hémicelluloses résistant le mieux aux réactifs chimiques sont bien celles dont le taux de dégradation est le plus bas (26).

(x) - Voir les détails techniques concernant cette expérience dans la 4ème partie de ce travail.

Ces auteurs, après WILLIAMS et OLMSTED, distinguent les hémicelluloses labiles, dissoutes à 45° à pH 8 pendant 3 jours, des hémicelluloses résistant à un tel traitement. Rappelons que cette distinction est très arbitraire, qu'elle n'a pas de signification chimique, qu'elle provient uniquement de certaines exigences d'une technique d'analyse et que des matières pectiques sont ainsi comptées parmi les hémicelluloses labiles.

A l'examen des résultats d'HUMMEL, SHEPHERD et MACY, on constate que pour les 18 sujets en expérience le pourcentage d'hémicelluloses stables disparues au cours du transit intestinal est inférieur au pourcentage correspondant au total des hémicelluloses stables et labiles dégradées. C'est donc que le taux de dégradation des formes labiles est supérieur à celui des formes stables. Alors que, pour l'ensemble des hémicelluloses, les coefficients de disparition dans l'appareil digestif varient de 49,2 à 79,8 pour cent, les coefficients des hémicelluloses stables sont compris entre 35,2 et 65,1 p. 100. La teneur du régime alimentaire en hémicelluloses n'est pas indiqué dans le travail des auteurs, ce qui rend impossible le calcul des taux de disparition des formes labiles.

2° Influence du régime alimentaire.

Cette question n'a fait l'objet d'aucune étude spéciale. Cependant, la disparition des hémicelluloses, due, en partie, aux actions microbiennes, est certainement influencée par les variations de régime alimentaire qui provoquent un changement du milieu digestif.

De nos expériences, nous déduisons que les facteurs de croissance, vitaminiques et minéraux, apportés par l'alimentation, peuvent avoir une influence sur le développement de la flore intestinale et, secondairement, sur la dégradation des hémicelluloses.

Deux régimes diffèrent seulement par la composition des pains. Dans un cas (période C), nous ingérons du pain complet. Dans l'autre cas, les issues (son et remoulages) sont épuisées à l'eau avant d'être incorporées à la farine blanche (période E). Les quantités d'hémicelluloses ingérées sont sensiblement les mêmes dans ces deux périodes. Avec le pain complet, les taux de dégradation des hémicelluloses sont, en moyenne, pour les deux sujets, de 50,7 p. 100. Avec le pain complet dont le son a été épuisé à l'eau, cette moyenne est de 43 p. 100 (voir tableau VI p. 52).

3° Variations du taux de l'hémicellulolyse

dues au sujet en expérience.

L'âge du sujet en expérience semble avoir une influence sur le taux de l'hémicellulolyse. Bien que les régimes alimentaires, employés au cours des diverses études consacrées à la dégradation des hémicelluloses, ne soient pas comparables, on peut cependant noter que la disparition des hémicelluloses est proportionnellement plus forte

chez l'adulte que chez l'enfant. Si l'on examine les bilans établis par HUMMEL, SHEPHERD et MACY (26), on constate que les taux d'hémicellulolyse croissent régulièrement avec l'âge : inférieurs à 60 p. 100 pour des enfants de 4 à 6 ans, ils atteignent presque 80 p. 100 à l'âge de 10 à 12 ans. Ces auteurs pensent que cette meilleure aptitude est due à l'accroissement en longueur de l'intestin.

Dans chacune des expériences, les sujets, qui reçoivent la même nourriture, ne se comportent pas tous de la même façon envers les hémicelluloses ingérées. Ce fait est illustré par les chiffres dont nous avons fait état au moment de l'étude de l'intensité de l'hémicellulolyse.

Il est important de noter que les variations dans le taux de disparition des hémicelluloses existent, non seulement entre les sujets soumis au même régime, mais pour un même sujet à des moments différents d'une expérience où la nourriture est pourtant uniforme. C'est ainsi que HUMMEL, SHEPHERD et MACY ont trouvé, entre le minimum et le maximum quotidien des taux individuels de dégradation des hémicelluloses de la plupart des sujets, des différences plus grandes que celles qui existent entre les taux moyens de l'hémicellulolyse des deux sujets possédant les taux les plus dissemblables. Par exemple, pour l'un des sujets, le minimum quotidien est de 26,7 p. 100 et le maximum de 71,4 p. 100, soit une différence de 44,7 p. 100. Chez ce même sujet qui est celui qui dégrade le moins bien les hémicelluloses, la moyenne journalière des pourcentages d'hémicelluloses disparues est de 49,2, alors que le sujet dont l'hémicellulolyse est la plus intense a une moyenne de 79,8 soit une différence de 30,6.

Il est intéressant de noter que les variations présentées par chacun des enfants en expérience sont d'autant plus importantes qu'ils sont plus jeunes. Mais le mémoire ne mentionne pas certains renseignements indispensable à une interprétation correcte des phénomènes observés. En effet, les quantités d'hémicelluloses ingérées sont constantes, mais les quantités excrétées peuvent varier considérablement, d'un jour à l'autre, du seul fait d'un changement dans la vitesse du transit intestinal, même si le taux de l'hémicellulolyse est constant. Il est possible que les constatations faites par les auteurs ne traduisent qu'un fonctionnement intestinal plus régulier chez les enfants plus âgés.

Nos expériences, réalisées sur deux hommes adultes, nous ont permis d'étudier les variations du taux d'hémicellulolyse pour chacun des sujets. L'un d'eux présentait un transit intestinal remarquablement constant, contrôlé par l'ingestion de surcharges de sulfate de baryum et surtout par la constance du poids frais et sec des matières fécales. L'autre sujet présentait un transit intestinal plus capricieux, mais les résultats d'analyses effectuées sur les matières fécales de trois jours consécutifs pouvaient être comparés aux ingestions d'une période de même durée. Le tableau V donne les taux de dégradation des hémicelluloses pour diverses phases consécutives d'une même période.

Tableau V

Périodes	1er sujet	2ème sujet
C, à base de pain de blé entier	56,5 50,8 52,5	47 47 53
Taux moyen de l'hémicellulolyse	53	48,7
E, à base de pain de blé entier dont le son a été épuisé à l'eau	41,5 34 33	51 46,5 48,7
Taux moyen de l'hémicellulolyse	37	48,2

Ces chiffres permettent de constater que les écarts entre les sujets sont parfois du même ordre que ceux que l'on peut relever chez le même individu.

4° Autres facteurs pouvant agir sur le taux

de l'hémicellulolyse.

Il est possible que certains facteurs, tels que la grosseur des particules ingérées, puissent intervenir. Mais nous n'avons trouvé aucune information à ce sujet. Il est évident que le choix des méthodes de dosage des hémicelluloses intervient également et que, dans certains cas, pour les légumes et les fruits, notamment, les coefficients de disparition, déterminés soit par la méthode au furfural de TOLLENS, soit par le pouvoir réducteur après fermentation, peuvent être divergents. Cependant, pour le blé et le son de blé et peut-être pour l'ensemble des céréales, la concordance des résultats est satisfaisante, comme nous avons pu le vérifier au cours des expériences sur les rats, exposées antérieurement (voir tableaux II et III p. 28 et 30).

Chapitre IV

SORT DES AUTRES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES

DANS L'INTESTIN DE L'HOMME.

I - SORT DES MATIERES PECTIQUES AU COURS DU TRANSIT DIGESTIF.

Les quelques travaux consacrés à cette question tendent à prouver que les matières pectiques ingérées disparaissent complètement dans l'intestin. Notons que ces travaux ne concernent que les pectines et non l'ensemble des matières pectiques. Les recherches d'IMHAUSER (28), de FURTH et ENGEL (14), de MANVILLE, BRADWAY et Mac MINIS (48) de WERCH et ses collaborateurs (89, 90) ont montré que, normalement, les pectines ingérées ne se retrouvent pas dans les matières fécales. Pourtant MURRER et CRANDALL (50) signalent la présence de pectines dans les fèces de chien soumis préalablement au jeûne. Une partie des pectines peut aussi être excrétée quand un mauvais fonctionnement intestinal se traduit par de la diarrhée.

Les matières pectiques qui ne se trouvent en abondance que dans quelques aliments, dans certains fruits en particulier, ne constituent qu'une faible partie des membranes végétales dont le sort, au cours des phénomènes digestifs et l'influence sur la nutrition de l'homme, forment l'objet de ce travail. Il est probable que leur disparition rapide dans l'intestin diminue encore leur importance par rapport aux éléments spécifiques des membranes : cellulose, hémicelluloses et lignine qui résistent beaucoup mieux aux conditions du milieu digestif. Il est toutefois important de noter que la dissolution intestinale des matières pectiques, qui constituent chez les tissus jeunes la presque totalité et chez les tissus âgés une fraction importante de la lamelle moyenne des membranes, a pour effet de séparer les cadres cellulaires les uns des autres, rendant l'attaque des autres assises de la membrane plus facile.

Dans les fruits, on rencontre des pectinases qui hydrolysent les pectines. De telles diastases ont été décrites pour la première fois par BOURQUELOT et HERISSEY (4), dans l'orge germée. Mais la dégradation intestinale des pectines semble avoir une autre origine.

Les causes de la dégradation poussée des matières pectiques dans l'intestin ont été étudiées par KERTESZ, sur l'animal et sur l'homme (32). La salive et le suc gastrique de l'homme ne contiennent aucune diastase capable d'hydrolyser ces substances. Il en est de même chez le chien, pour les sucs digestifs sécrétés dans les premiers segments de l'intestin. Des digestions artificielles réalisées avec ferments digestifs, sont également sans effet. Mais les pectines disparaissent rapidement quand on les met en présence de matières fécales. De cette première série d'expériences, il ressort que l'hydrolyse des pectines est due aux bactéries et qu'elle doit avoir lieu, au plus tard, au niveau du gros intestin.

La décomposition de la pectine et de l'acide galacturonique par les bactéries intestinales fait l'objet de l'étude de WERCH, JUNG et DAY (89) qui isolent des fèces, des bactéries diverses, capables d'hydrolyser ces composés. Il semble, à ces auteurs, qu'un régime uniquement composé de pectines ou un régime fortement carné favorise la prolifération intestinale de ces bactéries. Les filtrats sur bougie contiennent une diastase qui liquéfie les pectines. Les produits de la décomposition bactérienne des pectines sont principalement l'acide acétique et l'alcool éthylique. Il se forme un peu d'acide galacturonique ou, s'il s'en forme beaucoup, il doit être rapidement dégradé par les bactéries.

Nous avons vu que la disparition rapide des matières pectiques dans l'intestin favorisait l'attaque des autres constituants spécifiques des membranes végétales. Pourtant, certains travaux ont montré que les pectines ne sont peut-être pas plus rapidement désintégrées que la cellulose et les hémicelluloses. SILBERSCHMIDT fait agir des poudres fermentaires actives sur des coupes de tissus végétaux (79). L'auteur constate que les réactions colorées des pectines disparaissent après celles de la cellulose. Il est vrai que cette manière d'opérer est loin de réaliser les conditions intestinales, l'activité des poudres fermentaires employées ne correspondant pas à celle de la flore bactérienne de l'intestin. En outre, la disparition des réactions colorées peut se faire, pour deux composés différents, à des stades ne correspondant pas au même degré de dégradation.

II - SORT DE LA LIGNINE DANS LE TUBE DIGESTIF DE L'HOMME.

De tous les constituants spécifiques des membranes végétales, la lignine est certainement le composé qui résiste le mieux aux actions digestives.

De nombreuses expériences réalisées sur l'animal, il ressort que la lignine est généralement considérée comme non digestible. Toutefois, certains auteurs ont trouvé que des proportions parfois assez fortes de lignine disparaissent au cours du transit digestif. Dans l'étude que nous avons entreprise afin de connaître l'influence des méthodes d'analyse employées sur les coefficients de disparition intestinale de la cellulose, nous avons aussi recherché le taux de dégradation de la lignine. Nous avons trouvé, chez le rat, que la lignine ingérée disparaît dans les proportions de -1,5; 7 ; 9 et 12 p. 100 (voir p. 28 et 30.)

Dans de telles expériences, des causes inévitables d'erreurs ne permettent pas de prendre des chiffres si faibles en considération. D'autre part, il existe toujours une certaine imprécision au sujet des quantités de régime réellement ingérées. D'autre part, le mode d'estimation de la lignine ne fournit pas forcément des résultats comparables pour les ingesta et les excréta. La formation de produits de condensation de la lignine avec d'autres substances, la filtration sur toiles, sont des facteurs qui peuvent jouer différemment dans le dosage de la lignine des aliments et des fèces. Les particules de membranes contenues dans les excréments d'un rongeur sont certainement plus fines que celles des aliments et risquent de passer en plus grande proportion à travers les toiles.

D'autre part, la détermination de la lignine par pesée d'un résidu d'une hydrolyse acide est trop peu spécifique pour qu'on puisse tabler sur d'aussi faibles pourcentages de disparition dans l'intestin. C'est ainsi que certains auteurs ont montré que le résidu du traitement des fèces par l'acide sulfurique à 72 p. 100 n'avait pas du tout les mêmes caractéristiques que la lignine obtenue de la même façon sur les aliments (58).

Sans entrer dans le détail d'expériences biologiques qui sortent du cadre de notre travail, il nous faut dire quelques mots des études les plus solides concernant la question de la digestibilité de la lignine par l'animal.

Les résultats de ces études nous sont nécessaires pour essayer de nous faire une idée, parmi de rares données contradictoires, du sort de la lignine dans le tube digestif de l'homme.

KONIG et BECKER ont prétendu que la lignine était, en partie au moins, utilisée par les herbivores et qu'elle était à l'origine de la présence d'acide hippurique dans l'urine (36). ROGOZINSKI et STARZEWSKA s'élèvent vivement contre cette conception. Ils montrent que l'acide hippurique se forme à partir de substances indéterminées, mais autres que la lignine (57). Un extrait de lignine n'a aucune action sur la production d'acide hippurique; mais, à notre avis, cette dernière preuve est critiquable car les mêmes auteurs démontrent, dans le travail que nous mentionnons ci-dessous, que l'extrait de la lignine n'est pas modifié au cours du transit digestif. On ne comprendrait pas que la lignine, non absorbée, puisse influencer sur la composition de l'urine.

ROGOZINSKI et STARZEWSKA (58) préparent un extrait de lignine à partir de la paille qu'ils traitent par une solution diluée d'hydroxyde de sodium. Le liquide extractif est alors autoclavé en milieu acide, afin d'hydrolyser les substances glucidiques présentes. Les auteurs obtiennent ainsi un résidu qui ne contient pas de pentosanes. La préparation est alors ingérée par des ruminants et les quantités de lignine consommée sont exactement retrouvées dans les fèces. Toutes ces précautions techniques dans la préparation de l'extrait de lignine sont importantes car THOMAS (83) a montré que, dans le cas d'un concentré de lignine, la disparition dans l'intestin d'une fraction de cette substance était due, en fait, à la présence de petites quantités de cellulose. Cependant, il n'est pas certain que l'indigestibilité de la lignine, extraite chimiquement, puisse s'étendre au cas de la lignine telle qu'elle se présente dans les membranes. Nous montrerons que les mêmes individus hydrolysent une proportion importante de cellulose naturelle, sans pour cela désintégrer le papier filtre qui peut être

considéré comme un extrait de cellulose.

Notons que ROGOZINSKI et STARZEWSKA, peu confiants dans la signification réelle de la lignine obtenue comme résidu de traitement des ingesta et des excréta par l'acide sulfurique concentré, font le bilan des groupes méthoxylés. Mais, si les auteurs, employant un tissu végétal avaient trouvé une utilisation de méthoxyle par l'animal, auraient-ils pu conclure que la lignine avait disparu ? On peut fort bien concevoir une perte en méthoxyle de la lignine, sans que sa structure essentielle soit altérée.

Dans les expériences de CRAMPTON et MAYNARD (9) où la lignine ingérée est d'origine naturelle, les coefficients de digestibilité sont de 0,7 p. 100 pour le taureau et de 2,2 pour le lapin. La méthode de dosage employée par ces auteurs est l'une des meilleures de celles qui soient à notre disposition. Remarquons que les proportions de lignine disparue sont très faibles.

Par l'emploi d'une technique de dosage de la lignine très proche de celle décrite par WILLIAMS et OLMSTED, HELLER et WALL (20) donnent, pour le rat, des coefficients d'utilisation variant de 9 à 18 p. 100 et pour le mouton de 18,4 à 49,3 p. 100. Dans ce dernier cas, les proportions de lignine et de cellulose disparues sont équivalentes et supérieures au pourcentage d'hémicelluloses dégradées au cours du transit digestif. KONIG avait déjà trouvé des coefficients de digestibilité relativement élevés pour la lignine d'aliments naturels consommés par le mouton (35).

De cet ensemble de travaux réalisés sur divers animaux, il ne semble pas possible de formuler une règle générale. D'autres études sont nécessaires, s'appuyant sur de meilleures techniques d'analyse, avant de pouvoir donner de la digestibilité de la lignine une idée satisfaisante. Il n'est pas davantage possible, pour l'instant, de dire avec certitude, quel est le sort de la lignine dans le tube digestif de l'homme : le premier, RUBNER étudie spécialement cette question et montre que la moitié environ de la lignine ingérée disparaît au cours du transit intestinal (69).

Les proportions de lignine dégradée sont parfois encore plus grandes, comme le montrent ces quelques chiffres que nous empruntons à un travail de WILLIAMS et OLMSTED (93).

Proportions de lignine dégradée.

	<u>sujet F</u>	<u>sujet W</u>	<u>sujet H</u>
Son de blé	10,5 %	4 %	16 %
Farine de feuilles de luzerne	5,5	0	4
Carottes	55,8	50,6	54,6
Chou	72,7	54,5	69,1

Il semble donc, comme dans le cas de la cellulose et des hémicelluloses, que la lignine des tissus parenchymateux soit plus fragile que celle des tissus fortement lignifiés.

Dans nos expériences, réalisées sur deux hommes adultes (x), nous avons trouvé, pour la lignine, un taux de dégradation intestinale extrêmement faible. Il s'agissait là encore, de lignine de blé. Dans une autre phase de l'expérience, les chiffres étaient négatifs (voir tableau VI, période F). Notons que dans cette recherche, la présence de petites quantités de charbon, provenant de la cuisson parfois trop poussée des aliments, trouble la signification des dosages. Dans la méthode de WILLIAMS et OLMSTED que nous avons employée, ce charbon se trouve compté comme lignine.

Il est certain que la question du sort de la lignine dans le tube digestif de l'homme ne peut être tranchée par ces quelques données. Au cours des expériences citées précédemment, le sort de la lignine n'était presque jamais la préoccupation dominante des expérimentateurs. De ce fait, les méthodes employées pour la doser n'étaient pas assez spécifiques ou même, parfois, le régime alimentaire n'était pas celui qui convenait le mieux à une telle étude.

La confrontation de tous ces coefficients de disparition de la lignine dans l'intestin, coefficients dont certains sont pratiquement nuls, mais d'autres fort élevés, indique que la notion classique de l'indigestibilité de la lignine est fort compromise.

S'il semble difficile, à présent, de nier la disparition de la lignine dans l'intestin, le mécanisme de la disparition n'est pas précisé.

Cependant, les études de WACKSMAN (87), réalisées en ensemençant des milieux contenant des tissus végétaux divers, par des cultures pures de bactéries ou de champignons, ont montré que certains micro-organismes étaient capables de désintégrer la lignine.

D'autres auteurs arrivent à des conclusions semblables en ce qui concerne l'action de certains champignons sur la lignine (12).

Ces constatations, jointes aux données relatives aux causes de la dégradation des autres constituants des membranes, permettent de penser que la disparition de la lignine dans l'intestin est aussi le fait de diastases produites par les micro-organismes.

D'autre part, il est intéressant de noter, après les travaux de LUTZ (44) que la lignine est lentement attaquée par le mycélium de certains champignons hyménomycètes, pour être transformée en substances gommeuses et finalement en pentoses. De plus, la cellulose qui accompagne la lignine n'est hydrolysée que lorsque cette dernière substance est attaquée. Ces faits sont en accord à la fois avec une disparition possible de la lignine dans l'intestin et avec le rôle protecteur de la lignine vis à vis des autres constituants des membranes.

(x) - Pour les détails techniques concernant cette expérience se reporter à la 4ème partie de ce travail.

Une étude de LIESER (39) a montré que la séparation des bactéries cellulolytiques de celles qui attaquent la lignine est très difficile à réaliser. Toutefois, l'auteur indique que certains champignons filamenteux attaquent les constituants glucidiques des membranes et laissent la lignine intacte. Pour LIESER, ce serait là la meilleure façon d'obtenir une lignine native, non altérée par les traitements chimiques.

On ne sait rien des produits formés dans l'intestin par la désintégration de la lignine, ni des facteurs influençant cette décomposition.

De cet ensemble de données, il ressort que la lignine offre une assez grande résistance aux agents biologiques.

De plus, comme nous l'avons indiqué au moment de l'examen des facteurs influençant la cellulolyse, on pense généralement que la lignine protège les constituants glucidiques des membranes de l'action des micro-organismes. Cette action serait due aux fonctions phénoliques de la lignine. OLSON, PETERSON et SHERRARD ont montré, avec des cultures pures de bactéries thermophiles, cellulolytiques, que la cellulose et l'holocellulose ne sont bien attaquées que si le taux de la lignine présente est inférieur à 1 p. 100 (51). Cependant, la lignine ne semble pas être, comme nous l'avons dit, le seul facteur limitant la dégradation intestinale de la cellulose.

Chapitre V

SORT DE L'ENSEMBLE DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES DANS L'APPAREIL DIGESTIF DE L'HOMME.

De l'étude que nous venons de consacrer au sort des constituants des membranes végétales au cours du transit digestif, il ressort qu'en général la cellulose, les hémicelluloses, les matières pectiques subissent, de la part des micro-organismes de l'intestin une désintégration portant sur une fraction variable, mais souvent très importante, de ces substances. Le sort de la lignine est moins bien connu. La fraction désintégrée est convertie en composés chimiques dont nous étudierons par ailleurs l'incidence sur la nutrition humaine. L'autre fraction, qui n'a pas subi de modifications, constitue un déchet qui sera éliminé.

Bien que RUBNER (59,60) l'ait tenté, il est difficile de connaître la proportion de membranes disparues au cours du transit digestif, en les isolant quantitativement des autres substances constitutives des aliments et des fèces. Le plus généralement, c'est par la détermination de chacun des constituants spécifiques des membranes contenues dans les ingesta et les excréta qu'on arrive à la connaissance du taux de dégradation de l'ensemble, ce qui n'est qu'une détermination approchée puisque les constituants non spécifiques ne sont pas pris en considération.

Certains auteurs ne fournissent que des renseignements globaux au sujet du sort des membranes végétales dans l'intestin. C'est ainsi que SEALOCK, BASINSKI et MURLIN, en étudiant sur l'homme la digestibilité et la valeur biologique de pains de blé entier et de pain blanc, établissent, par la méthode de WILLIAMS et OLMSTED, les taux de dégradation de l'ensemble de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine. Pour différents pains blancs, le taux est d'environ 76 p. 100. Pour des pains faits avec des blés "polis", dont une partie du péricarpe a été retirée, ce taux est en moyenne de 59 p. 100; il s'abaisse à moins de 50 p. 100 pour un pain ou un biscuit fait avec des farines de blé entier. Notons que le régime de base utilisé par ces auteurs contenait des aliments tels que la laitue, riches en membranes qui peuvent facilement être dégradées (73).

RUBNER cherche à déterminer directement les quantités de membranes contenues dans les aliments et les fèces et, de là, calcule les proportions de membranes disparues.

Pour isoler les membranes végétales des aliments, l'auteur a recours à des digestions artificielles suivies de traitement à l'alcool, à l'éther et à l'hydrate de chloral (60). L'auteur remarque que les traitements à la pancréatine, en milieu légèrement alcalin, ne sont pas sans causer quelques dommages aux membranes. Pour séparer les membranes présentes dans les fèces, RUBNER fait agir l'acide chlorhydrique concentré, l'alcool, l'acétone, l'éther; après dessiccation, le résidu est pesé (59). L'auteur montre que pour les fèces, le traitement par l'acide chlorhydrique concentré n'entraîne pas à des pertes de pentosanes.

Ces techniques qui ne peuvent conduire qu'à des résultats approximatifs ont permis à RUBNER de donner, pour des membranes d'origines diverses, les taux moyens de dégradation suivants :

<u>Nom des aliments</u>	<u>Taux de dégradation</u>
Pommes de terre	92 p. 100
Fruits et légumes frais	83 p. 100
Pain	45 p. 100

Dans notre expérience (x), les constituants des membranes ont été déterminés séparément par la technique de WILLIAMS et OLMSTED. Si nous envisageons l'ensemble de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine, ingéré et excrété, les taux de dégradation s'établissent ainsi : (voir tableau VI).

1°- Pour un régime naturel équilibré, où les membranes végétales étaient fournies par des carottes, des pommes de terre, de la laitue et du pain blanc, on retrouvait, par jour, dans les fèces, une moyenne de 3,2 g. au total de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine pour une ingestion correspondante d'environ 10 grammes, soit un taux de dégradation de 68 p. 100, en moyenne, pour deux sujets.

2°- Un régime artificiel équilibré, à base de pain blanc, comportait un résidu indigestible constitué par 6 g. de papier filtre sans cendres, 1,50 g. environ de cellulose, hémicelluloses et lignine apportées par le pain et des quantités minimales, non déterminées, en provenance de la farine blanche, soit un total d'environ 7,70 g. Nous avons retrouvé dans les fèces un poids de 7,10 g. correspondant à l'ensemble des constituants spécifiques des membranes. Ces chiffres indiquent clairement que le papier filtre n'est pratiquement pas attaqué au cours du transit intestinal.

(x) - Pour les détails techniques concernant cette expérience, se reporter à la 4ème partie de ce travail.

LES CONSTITUANTS DES MEMBRANES ET LEUR TAUX DE DEGRADATION

Périodes	Constituants des memb. ingérés, en g. (WILLIAMS)				Constituants des membranes excrétés en g. (WILLIAMS)								Taux de dégradation								Cell. brute ing. (WEENDE)	Cellulose brute excrétée (WEENDE) en g.		Taux de dégradat.	
	Cellul.	Hémic.	Lign.	Tot.	Cellulose		Hémicellul.		Lignine		Total		Cellulose		Hémicellul.		Lignine		Total						
					1°suj.	2°suj.	1°suj.	2°suj.	1°suj.	2°suj.	1°suj.	2°suj.	1°suj.	2°suj.	1°suj.	2°suj.	1°suj.	2°suj.	1°suj.	2°suj.		en g.	1°suj.	2°suj.	1°suj.
A) Alimentation naturelle.																									
15-17 J	14,2	14,6	2,2	31	5,7	5,4	3,1	2,6	1,7	2	10,5	10	60	62	78	82				66	68				
18-20 J	14,2	14,6	2,2	31	5,9	4,6	2,2	2,3	2,1	2,4	10,2	9,3	57	67	85	84				67	70				
1-3 F	14,2	14,6	2,2	31	6,5	4,2	2,3	1,6	2	2,3	10,8	8,1	54	71	84	89				65	74				
15-17 F	14,2	14,6	2,2	31	5,1	4,7	2	2,1	1,8	1,7	8,9	8,5	64	67	86	85				71	72				
18-19 F	9,5	9,7	1,5	20,7	3,9	2,8	1,7	1,5	1,5	1,4	7,1	5,7	59	70	82	84				65	69				
2-4 M	14,2	14,6	2,2	31	5,3	5,1	2,7	2,7	1,8	2,1	9,8	9,9	63	64	81	81				68	68				
16-18 M	14,2	14,6	2,2	31	6,3	4,7	2,6	2	1,7	2	10,6	8,7	56	67	82	86				66	74				
Moy.journ.	4,74	4,86	0,74	10,3	1,93	1,58	0,83	0,74	0,64	0,7	3,4	3	59	67	83	85	13,5	5,4	67	71					
B) Pain blanc + 6 g. de papier filtre																									
22-24 J	19,74	2,5	0,87	23,1	18,6	17,4	1,9	1,85	0,9	1	21,4	20,3								20,4	17,1	16			
25-27 J	19,74	2,5	0,87	23,1	16,8	19,7	1,9	2,10	1	1,1	19,7	22,9								20,4	16,1	19,4			
28-29 J	13,2	1,7	0,6	15,5	13	12,7	1,6	1,5	0,8	0,6	15,4	14,8								13,6	10,8	10,2			
Moy.journ.	6,6	0,8	0,3	7,7	6	6,2	0,67	0,68	0,34	0,34	7	7,20	9	6			nég.	nég.	9	6,5	6,8	5,5	5,7		
D) Pain blanc																									
22-24 F	1,74	2,5	0,87	5,1	2		2,6		1		5,6														
25-27 F	1,74	2,5	0,87	5,1	1,9		2,4		1,4		5,7														
C) Pain complet																									
5-7 F	23,3	45,7	12,2	81,2	19,4	14,6	19,2	24,3	11,7	12,2	50,3	51,1	16,8	38	56,5	47			38	37	23,4	19	21,3	18,8	9
8-10 F	23,3	45,7	12,2	81,2	15,8	14,4	22,5	24,3	12,6	12,4	50,9	51,1	32	38	50,8	47			37	37,3	23,4	22,3	21,5	4,7	8,1
11-12 F	15,5	30,5	8,1	54,1	9,9	8,7	14,6	14,2	7,8	7,5	32,3	30,4	36	44	52,5	53			40	44	15,6	13,8	11,8	11,5	24,5
Moy.journ.	7,8	15,2	4,07	27,06	5,6	4,7	7,05	7,85	4	4,05	16,7	16,6	28	39,7	53	48,7	2	0,5	38,5	39	7,80	6,9	6,8	11,6	12,8
E) Pain complet (son épuisé à l'eau)																									
6-8 M	27,1	56,1	13,9	97,1	19,5	17,6	32,8	27,3	13	12,2	65,3	57,1	28	36	41,5	51			33	41	26,1	21,3	23,2		
9-11 M	27,1	56,1	13,9	97,1	21	21,1	37	30,6	15,1	14	73,1	65,7	22,5	22	34	46,5			25	32	26,1	25,6	25,6		
12-13 M	18,1	37,4	9,3	64,8	15	14,2	25	19,2	9,2	9,1	49,2	42,5	16,6	21,5	33	48,7			24,2	34	17,4	19,3	15,2		
Moy.journ.	9,05	18,7	4,6	32,4	7	6,6	11,8	9,65	4,7	4,4	23,5	20,7	22	27,5	37	48,2	nég.	4	27,5	36	8,7	8,3	8	4,6	8
F) Pain blanc + extrait de son																									
20-22 M	1,7	2,5	0,85	5,05	2,1		2,1		1,7		5,9														
23-25 M	1,7	2,5	0,85	5,05	2,2		1,9		0,8		4,9														
26-27 M	1,1	1,7	0,57	3,37	0,7		1		1,2		2,9														

Par contre, si nous effectuons les mêmes calculs d'après les résultats fournis par la méthode de WEENDE, nous trouvons, pour une ingestion de 6 g. 8 environ, une excrétion de 5 g. 6, ce qui semble traduire une désintégration notable. Mais ces 6 g. 8 représentent 6 g. de papier et 0 g. 8 de cellulose brute fournie par les constituants de la ration. Si on soumet ce papier filtre aux traitements que comporte la méthode de WEENDE, les 6 g. de papier ne fournissent que 5 g. de cellulose brute et l'indigestible ingéré, déterminé par la méthode de WEENDE, est donc en tout de 5,8 g. La différence entre les poids de l'indigestible ingéré et excrété est donc minime. La petite disparition de cellulose brute constatée doit vraisemblablement porter, non sur le papier, mais sur les autres composants indigestibles de la ration.

3°- Pour le même régime artificiel que précédemment, mais sans papier et à base de pain de farine entière de blé, l'ingestion quotidienne de l'ensemble cellulose + hémicelluloses + lignine est de 27,1 g. Dans les fèces, ces mêmes substances représentent un poids de 16,7 g. pour le premier sujet et de 16,6 g. pour le second, ce qui donne respectivement des taux de dégradation de 38,5 p. 100 et de 39 p. 100.

4°- Dans une autre phase de l'expérience, caractérisée par l'addition, au même régime de base, d'un pain fait avec une farine de blé entier, pain qui fournissait chaque jour 32,4 g. de cellulose, hémicelluloses et lignine, la quantité de l'ensemble de ces substances retrouvées dans les fèces est de 23,5 g. pour le premier et de 20,7 pour le second sujet. Les taux de dégradation sont respectivement de 27 p. 100 et de 36 p. 100.

Ces résultats d'expériences sur l'homme nous montrent avec netteté le sort des membranes végétales au cours de la digestion.

Le papier filtre mérite bien le nom de substance encombrante, puisqu'on le retrouve à peu près quantitativement dans les fèces. Les membranes végétales se comportent différemment : une proportion parfois très importante, toujours notable, disparaît au cours du transit digestif. Le reste constitue un déchet important qui est éliminé.

Nous allons voir que l'influence des membranes sur les phénomènes digestifs n'est pas aussi simple et que leur présence s'accompagne généralement de modifications profondes dans l'utilisation de la ration.

BIBLIOGRAPHIE - 2ème partie.

1. ALLEN (R.S.) et CARLSON (A.S.). - Amer. Journ. phys., 1927, 82, 583.
2. BARANY (R.). - Wiener med. Woch, 1902, 9, 411.
3. BIEDERMANN (W.) et MORITZ (P.). - Pflügers Arch., 1898, 73, 219; 1899, 75, I.
4. BOURQUELOT (E.) et HERISSEY (H.). - C.R. Ac. Sc., 1898, 127, 191.
5. BROWN (H.T.). - Journ. Chem. Soc., London 1892, 61, 352.
6. BROWN (H.T.) et MORRIS (G.H.). - Journ. Chem. Soc., London 1890, 57, 497.
7. BUNGE. - Text-book of physiological chemistry, 2ème édit. 1902, Ed. Starling, Philadelphie p. 163, cité par (I).
8. CLEVELAND (L.R.). -
Biol.Bull.Mar. Biol. Lab., 1924, 46, 203, dans Chem.Abstr., 1924, 18, 2389;
" " " " " , 1925, 48, 282, " " " , 1925, 19, 2090;
" " " " " , 1925, 48, 455, " " " , 1925, 19, 2377.
9. CRAMPTON (E.W.) et MAYNARD (L.A.). - Journ. of Nutrition, 1938, 15, 383.
- 9^b CRISTOL (P.). - Précis de chimie biologique médicale - Masson édit. Paris 1942, p. 226.
10. DOGIEL (V). - Naturwiss. Ges. Leningrad, 1925, 54, 69, cité par 46.
11. ELLENBERGER (W.), SCHEUNERT (A.), GRIMMER (W.) et HOPFFE (A.). - Ztschr. f. physiol. Chem., 1915, 96, 236.
12. FERNANDEZ (O.) et REGUEIRO (B.). - Farm. nueva, 1946, II, 57, dans Chem. Abstr., 1947, 41, 3292i.
13. FOURNIER (P.). - Rev. gén. de Botan., 1948, 55, 49.
14. FURTH (V.O.) et ENGEL (V.). - Biochem. Ztschr., 1931, 237, 159.
15. GOLFFON (R.). - Bull. Acad. Med., 1943, 127, 102.
16. GRASSMANN (W.) et RUBENBAUER (H.) - Munch. med. Woc., 1931, 78, 1817.
17. GUILLEMET (R.) et JACQUOT (R.). - C.R. Ac. Sc., 1943, 216, 508.
18. HAUBNER. - Ztschr. f. deuts. Landwirte, 1855, 177, cité par 46.

19. HEIDUSCHKA (A.) et SEGL (J.). - Z. ges. Brauw, 1933, 56, I, dans Chem. Abstr., 1933, 27, 5887.
20. HELLER (V.G.) et WALL (R.). - Journ. of Nutr., 1940, 19, 141.
21. HENNEBERG (W.) et STOHRMAN (F.). - Landw. Vers. Stat., 1864, 6, 496.
22. HIRSCHBERG (N.). - Amer. Journ. Digestive Diseases, 1942, 9, 200.
23. HOFFMEISTER (W.). - Landwirtschaftliche Jahrb., 1888, 17, 239.
24. HOPFFE (A.). - Zentralb. f. Bakt. u. Parasit., 1919, 83, 374 et 531.
25. HOPPE-SEYLER (F.). - Ztschr. f. physiol. Chem., 1886, 10, 401.
26. HUMMEL (F.C.), SHEPHERD (M.L.) et MACY (I.G.). - Journ. of Nutrition, 1943, 25, 59.
27. HUNGATE (R.E.). - Biol. Bull. 1943, 84, 157.
28. IMHAÜSER (K.). - Arch. Exp. Path. Pharm., 1932, 167, p. 702, cité par 32.
29. JANSSEN (W.H.) et MÜLLER (F.). - Münch. Med. Woch., 1919, 66, 829.
30. KARRER (P.) et ILLING (H.). - Kolloid Ztschr., 1925, 36, 91.
31. KARRER (P.) et ORSI MANGELLI (P.). - Helv. Chim. Acta, 1929, 12, 989.
32. KERTESZ (Z.I.). - Journ. of Nutrition, 1940, 20, 289.
33. KHOUVINE (Y.). - Thèse de Doctorat ès-Sciences, Paris 1923; Ann. Inst. Pasteur, 1923, 37, 711.
34. KNIEREM (W. von). - Ztschr. f. Biol., 1885, 21, 67.
35. KÖNIG (J.). - Landw. Vers. Stat., 1907, 65, 55.
36. KÖNIG (J.) et BECKER (E.). - Ztschr. f. Angew. Chem., 1919, 32, 155.
37. LAWRYNOWICZ (A.). - C.R. Soc. Biol., 1936, 122, 839.
38. LEWIS (H.B.) et JEWELL (M.E.). - Proc. Soc. Exp. Biol. and Med., 1916, 14, 59.
39. LIESER (T.). - Cellulosechemie, 1926, 7, 156, dans Chem. Abstr., 1927, 21, 821.
40. LOHRISCH (H.). - Ztschr. f. physiol. Chem., 1906, 47, 200.
41. LUERS (H.) et WOLKAMER (W.). - Wochschr. Brau, 1928, 45, 83 et 95, dans Chem. Abstr., 1928, 22, 2761.

42. LUTZ (L.). - C.R. Acad. Sci., 1930, 190, 892.
43. LUTZ (L.). - C.R. Acad. Sci., 1934, 199, 893.
44. LUTZ (L.). - Traité de Cryptogamie, Ed. Masson et Cie, Paris 1942, p. 399.
45. MACRAE (T.F.), HUTCHINSON (J.C.D.), IRWIN (J.O.), BACON (J.S.D.) et Mac DOUGAL (E.S.). - Journ. of Hyg., 1942, 42, 423.
46. MANGOLD (E.). - Nutr. Abstr. and Reviews, 1934, 3, 6.
47. MANGOLD (E.). - L'utilisation alimentaire de la cellulose, éd. Hermann et Cie, Paris 1937.
48. MANVILLE (I.A.), BRADWAY (E.M.) et Mac MINIS (A.S.). - Amer. Journ. Dig. Nutr. 1936, 3, 570.
49. MOHS (K.). - Ztschr. f. d. ges. Getreidewesen, 1929, 16, 43, cité par 46.
50. MURER (H.K.) et CRANDALL (L.A.). - Proc. Am. Physiol. Soc., 52nd Annual Meeting New-Orléans, La, p. 131, cité par 32.
51. OLSON (F.R.), PETERSON (W.H.), SHERRARD (E.C.). - Ind. Eng. Chem., 1937, 29, 1026.
52. POCHON (J.). - C.R. Soc. Biol., 1938, 127, 997.
53. POCHON (J.). - Thèse de Doctorat ès Sciences, Paris 1935, Ann. Inst. Pasteur, 1935, 55, 676.
54. PRINGSHEIM (H.). - Ztschr. f. physiol. Chem., 1912, 78, 266.
55. RANDOIN (L.), FOURNIER (P.) et DIGAUD (A.). - Bull. Soc. Sc. Hyg. alim., 1944, 32, 21; Bull. Soc. Chim. Biol., 1945, 27, 40.
56. REMY (E.). - Biochem. Ztschr., 1931, 236, I.
57. ROGOZINSKI (F.) et STARZEWSKA (M.). - Bull. Acad. pol. Sci. et L. B; 1926; 157.
58. ROGOZINSKI (F.) et STARZEWSKA (M.). - Bull. Acad. pol. Sci. et L. B, 1927, 1243.
59. RUBNER (M.). - Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abt. , 1915, 81
60. RUBNER (M.). - " " " " " " " , 1915, 193
61. RUBNER (M.) - " " " " " " " , 1916, 61

62. RUBNER (M.). - Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abt. , 1916, 132
63. RUBNER (M.). - " " " " " " " , 1916, 212
64. RUBNER (M.). - " " " " " " " , 1916, 221
65. RUBNER (M.). - " " " " " " " , 1916, 227
66. RUBNER (M.). - " " " " " " " , 1916, 237
67. RUBNER (M.). - " " " " " " " , 1917, 74
68. RUBNER (M.). - " " " " " " " , 1918, 53
69. RUBNER (M.). - Naturwissenschaften, 1928, 16, 1011.
70. RUBNER (M.) et KOHLRAUSCH (A.). - Arch. f. Anat. u. Physiol. - Phys. Abt. 1916, 101.
71. RUBNER (M.) et THOMAS (K.). - Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abt., 1918, 1.
72. SARTORY (R.). - Thèse de Doct. ès Sc. Paris 1929.
73. SEALOCK (R.), BASINSKI (D.) et MURLIN (R.). - Journ. of. Nutr., 1941, 22, 589.
74. SCHEUNERT (A.). - Ztschr. f. phys. Chem., 1906, 48, 9.
75. SCHEUNERT (A.) et GRIMMER (W.). - Ztschr. f. phys. Chem., 1906, 48, 27.
76. SCHMIDT-OTT (A.). - Arch. f. Verd. Krankh., 1936, 59, 143.
77. SEILLIERE (G.). - C.R. Soc. Biol., 1907, 63, 515.
78. SHEPHERD (M.L.), HUMMEL (F.C.) et MACY (I.G.). - Amer. Journ. Dig. Dis., 1940, 7, 248.
79. SILBERSCHMIDT (K.). - Munchen med. Wochenschr., 1931, 78, 1819.
80. SPRENGEL (K.). - Chemie für Forstmänner, Landwirte u.s.w. Göttingen, 1832 cité par 46.
81. STRAUSS (L.). - Arch. f. Verd. Krankh., 1925, 34, 288; 1927, 41, 1.
82. TAPPEINER (H.). - Ztschr. f. Biol., 1884, 20, 52; 1888, 24, 105.
83. THOMAS (K.). - Berlin. Klin. Wochensch. 1919, 428.
84. THOMAS (P.). - Manuel de Biochimie, Masson édit. Paris 1946, P. 423.

85. VAN der REIS et GOSMANN (W.). - Klin. Wochensch., 1925, 4, 1068.
86. WAENTING (P.) et GIERISCH (W.). - Ztschr. für physiol. Chem., 1918, 103, 87.
87. WAKSMAN (J.A.). - Arch. f. Mikrob., 1931, 2, 136.
88. WEISKE (H.). - Ztschr. f. Biol., 1870, 6, 456.
89. WERCH (S.C.), JUNG (R.W.), DAY (A.A.), FRIEDMAN (T.E.) et IVY (A.C.). - Journ. Infect. Dis., 1940, 70, 231.
90. WERCH (S.C.), JUNG (R.W.), PLENK (H.), DAY (A.A.) et IVY (A.C.). - Amer. Journ. Dis. child., 1942, 63, 839.
91. WICKE. - Arch. f. Hygiène, 1890, II, 348, cité par 40.
92. WILLIAMS (R.D.) et OLMSTED (W.). - Journ. of. Biol. Chem., 1935, 108, 653.
93. WILLIAMS (R.D.) et OLMSTED (W.). - Journ. of. Nutr., 1936, II, 433.
94. WILLIAMS (R.D.), WICKS (L.), BIERMAN (H.R.) et OLMSTED (W.). - Journ. of Nutr., 1940, 19, 593.
95. WOODMAN (H.E.) et STEWART (J.). - Journ. Agric. Sci., 1932, 22, 527.
-

TROISIEME PARTIE.

INFLUENCE DES MEMBRANES VEGETALES SUR LA NUTRITION DE L'HOMME.

Chapitre premier.

UTILISATION DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES PAR L'ORGANISME HUMAIN.

S'il est bien démontré que la cellulose, les hémicelluloses, les matières pectiques et peut-être aussi la lignine disparaissent, en proportions très variables selon leur provenance, au cours du transit digestif, s'il est également bien prouvé que les microorganismes sont à l'origine de ce phénomène, on ne sait, par contre, que très peu de chose des profits que l'organisme humain peut retirer des produits intermédiaires et finaux de la dégradation intestinale des constituants spécifiques des membranes végétales.

En fait, le problème de l'utilisation digestive par l'homme, de la cellulose, des hémicelluloses, des matières pectiques et de la lignine est d'un intérêt secondaire.

Au point de vue énergétique, ces substances ne représentent, dans des conditions normales d'alimentation, qu'une fraction non négligeable, mais petite, du total des calories brutes apportées par la ration journalière.

Avec le régime naturel, équilibré, dont nous venons de parler au cours de l'étude de la dégradation digestive des membranes, le total des constituants des membranes ingérées est de 11 g. environ dont 7 g. disparaissent au cours du transit digestif. Ces 7 g. correspondent environ à 28 calories, soit à 1 p. 100 d'une ration calculée sur la base de 2.800 calories utilisables (x).

(x) - Pour les détails techniques concernant cette expérience, se reporter à la 4ème partie de ce travail.

Pour un régime alimentaire relativement riche en membranes végétales, comme c'est le cas, par exemple, lors de l'ingestion en quantités importantes de pain de farine non blutée de blé, l'énergie correspondant à la fraction désintégrée des membranes est également de l'ordre du centième de la valeur calorifique de la ration.

Ainsi, pour la période expérimentale où 500 g. de pain de farine entière de blé étaient ingérés, soit un apport de 27,1 g. de cellulose, hémicelluloses et lignine, 10,4 g. n'étaient pas retrouvés dans les fèces. Ces 10,4 g. qui correspondent presque exclusivement à de la cellulose et à des hémicelluloses disparues représentent environ 40 calories soit un peu plus du centième des 2.800 calories fournies par la ration.

Mais dans quelle mesure peut-on parler d'utilisation par l'homme des éléments constitutifs des membranes végétales ? Jusqu'ici nous n'avons parlé que de disparition, de lyse, de taux de dégradation et de coefficient de digestibilité, termes qui n'impliquent pas qu'il y ait absorption et utilisation.

Il est certain, au moins dans le cas de la cellulose, que des sucres prennent naissance au cours de la fermentation bactérienne de cette substance. Nous avons vu que dans les milieux de culture, ces sucres sont difficiles à mettre en évidence, car ils subissent rapidement des dégradations.

Aussi la question se pose-t-elle de savoir si le glucose formé dans l'intestin à partir de la cellulose va franchir la barrière intestinale ou va subir, du fait des microorganismes, des fermentations conduisant à divers produits dont les principaux sont des gaz et des acides gras volatils.

Le seul fait qui soit bien démontré, dans le cas de l'homme, c'est qu'à un accroissement de la teneur de la ration en membranes correspond une élévation des acides gras volatils contenus dans les fèces. Ainsi, pour le son de blé, WILLIAMS et OLMSTED (79) constatent que la disparition, en 6 jours, d'un total de 41,2 g. de cellulose et d'hémicelluloses, s'accompagne d'une augmentation de 6 g. du poids des acides gras volatils des fèces, exprimés en acide acétique, soit un gramme par jour. Nos expériences que nous exposons plus loin, nous conduisent presque exactement à ce même excédent de 1 g. d'acides gras volatils convertis en acide acétique, quantité qui coïncide avec la disparition de 10,4 g. de cellulose, d'hémicelluloses et pour une faible part de lignine. Notons la bonne concordance de ces résultats avec ceux de l'expérience de WILLIAMS et OLMSTED où le régime alimentaire était pourtant très différent de celui que nous avons employé. Cependant, ces auteurs ne trouvent qu'une disparition de 6,9 g. de cellulose et d'hémicelluloses par jour.

Ces quelques données ne permettent pas de se faire une idée précise des possibilités d'utilisation des constituants des membranes végétales, et le fait que certains auteurs (27) considèrent que 1 g. d'acide acétique correspond justement à la fermentation de 6 g. de glucose n'apporte rien de plus. En dépit de la bonne convergence de tous ces renseignements, nous ne sommes pas du tout autorisé à dire que 6 g. de cellulose et d'hémicelluloses ont disparu dans l'intestin pour donner naissance, conformément à ce que la théorie permet de prévoir, à un gramme d'acide acétique retrouvé

effectivement dans les fèces. De ce fait, l'organisme ne tirerait aucun parti des constituants des membranes végétales lors de leur passage au stade d'oses. S'il en était ainsi, ce ne sont pas les résultats précédents qui permettraient de l'affirmer.

La formation des acides gras volatils dans l'intestin, peut avoir lieu à partir de substances autres que les constituants glucidiques des membranes. Ainsi, ELSDEI (18) fait agir, *in vitro*, le contenu de la panse du mouton sur de la cellulose, du glucose, de l'acide lactique, et constate dans tous les cas, la formation d'un mélange d'acides acétique, propionique et butyrique.

Et c'est là, pensons-nous que nous touchons au problème important qui n'est plus celui de l'utilisation éventuelle, par l'homme, d'une fraction des faibles quantités de principes constitutifs des membranes qu'il ingère, mais à celui de l'absorption et de l'utilisation des produits formés au cours des fermentations dans l'intestin. Ces produits pourraient prendre naissance à partir des éléments assimilables de la ration, particulièrement des glucides.

Il est bien probable que la coïncidence entre l'augmentation du poids d'acide acétique retrouvé dans les fèces et la quantité théoriquement équivalente de cellulose et d'hémicelluloses disparue est fortuite. Cet acide acétique ne peut être considéré comme un produit insensible à l'action de la flore bactérienne des parties terminales de l'intestin, fort capable de l'utiliser, et aux phénomènes d'absorption dont la muqueuse intestinale est le siège. Si, dans les fèces, il s'en trouve une quantité qui correspond à la cellulolyse et à l'hémicellulolyse, c'est plutôt la preuve qu'il s'en était formé davantage et qu'une partie a disparu fermentée par les bactéries ou absorbée par les muqueuses.

Il est naturellement très difficile de savoir d'abord, dans quelle mesure les constituants des membranes favorisent, par leur présence, la fermentation des glucides assimilables de la ration et ensuite, quel est le sort des produits formés au cours des fermentations. Par l'emploi d'éléments marqués, RITTENBERG et BLOCH (62), LORBER et ses collaborateurs (45) ont montré sur la souris et sur le rat, que l'acide acétique ingéré était absorbé et effectivement utilisé pour la formation d'acides gras supérieurs, de cholestérol et de glycogène.

Dans le cas de l'homme, on est réduit à des hypothèses. Aussi est-on tenté de lui appliquer les connaissances que l'on possède de l'utilisation des constituants des membranes végétales par les animaux supérieurs, question qui a été beaucoup étudiée.

Chez les ruminants, l'utilisation des produits de dégradation de la cellulose et des substances qui l'accompagnent est un fait bien établi, et certains auteurs (41,31) ont été jusqu'à prétendre que la cellulose avait la même valeur alimentaire que l'amidon, affirmation qui a d'ailleurs été vivement contestée (83). WOODMAN (80) pense que c'est au stade de glucose que la cellulose est utilisée par le ruminant, et non au stade des acides gras, utilisables surtout par les bactéries. Au contraire, ZUNTZ (83) considère que les animaux supérieurs peuvent utiliser ces acides, surtout comme source d'énergie, opinion qui est partagée par MALLEVRE (50).

Dans une série d'expériences FURTH et MAJER (24) déterminent la teneur en glycogène du foie de rats nourris de lard, avec ou sans addition de substances diverses : cellulose brute, cellulose pure, pectine ou sels de sodium d'acides gras inférieurs. Seule, la cellulose n'a eu aucun effet sur l'accroissement du taux de glycogène. Ce résultat n'est pas fait pour nous surprendre car l'origine de la cellulose est telle qu'elle doit se retrouver intacte dans les fèces. On ne comprendrait pas, dans ces conditions, qu'il puisse y avoir une élévation du taux du glycogène hépatique. Par contre, pour DEUEL et ses collaborateurs, l'ingestion d'acide butyrique par le rat n'élève pas la teneur du foie en glycogène (17).

Ces quelques considérations, volontairement limitées, nous permettent de penser qu'effectivement les produits formés au cours de la fermentation des constituants des membranes dans l'intestin humain sont utilisables, sans pouvoir donner de précisions au sujet d'une utilisation qui, même si elle était totale, aurait peu d'influence sur les bilans énergétiques de l'individu nourri normalement. Nous aurons à revenir, par ailleurs, sur cette question.

Chapitre II.

INFLUENCE DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES

SUR LES COEFFICIENTS D'UTILISATION DIGESTIVE DES PROTIDES.

S'il est bien évident que les poids de cellulose, hémicelluloses et lignine consommés chaque jour par l'homme, dans les conditions normales d'alimentation, sont trop faibles pour que leur utilisation partielle ait une importance notable sur la nutrition, est-ce à dire que ces substances n'ont aucune influence sur les phénomènes nutritifs ?

De l'ensemble des nombreux travaux consacrés à cette question, il ressort qu'on admet généralement que la présence dans le régime alimentaire de déchets dits "cellulosiques" peu digestibles entraîne une perte importante, par les fèces, de substances assimilables. Ainsi, c'est par son caractère négatif, par une perte de principes utilisables que le rôle de la cellulose et des substances qui l'accompagnent serait important.

Malgré l'abondance des données, l'influence néfaste des constituants des membranes végétales ne nous paraît pas suffisamment prouvée. Le plus souvent, les expérimentateurs comparent les résultats obtenus avec du pain complet à ceux fournis par le pain blanc. Dans ces conditions, les membranes ne sont pas les seules différences existant entre les deux régimes, et on attribue aux constituants des membranes l'ensemble des variations constatées, sans chercher quelles incidences peut avoir l'ingestion simultanée d'éléments vitaminiques et minéraux. C'est dans ce sens que nous avons pensé qu'il était intéressant d'expérimenter.

La plupart des travaux consacrés à la question de l'influence des membranes sur les coefficients d'utilisation digestive des protides ont montré que la présence dans la ration de ces résidus végétaux peu digestibles entraîne une chute importante des coefficients.

Il nous faut, cependant, faire une distinction parmi les données abondantes relatives à ce problème, les résultats différant sensiblement suivant l'origine des substances indigestibles.

I - INFLUENCE DES MEMBRANES DU GRAIN DE BLE :

SUR L'UTILISATION DIGESTIVE DES PROTIDES.

1°) Régression des coefficients d'utilisation digestive consécutive à l'ingestion de son de blé.

Depuis les travaux initiaux de RUBNER, on sait que l'accroissement du taux d'extraction des farines ingérées s'accompagne d'une augmentation très importante de la teneur en azote des fèces, donc d'un fléchissement des coefficients d'utilisation digestive des protides. RUBNER fait ingérer à un homme 1.000 g. de pain fait, soit avec une farine à un taux d'extraction peu élevé (farine blanche), soit avec une farine de taux d'extraction moyen, soit avec une farine de blé entier (65). Dans ces conditions, la perte azotée fécale, qui est de 20 p. 100 de l'azote ingéré pour le pain fait avec de la farine blanche, s'accroît respectivement à 24,6 et 30,5 p. 100 dans le cas des deux autres pains.

Dans une vaste série d'études sur l'homme, en vue de déterminer la digestibilité et la valeur nutritive du pain en fonction du taux d'extraction des farines, c'est à dire en fonction de leur teneur en débris du péricarpe, -études largement exposées et commentées par G. BERTRAND (8)-, SNYDER (73), WOODS et MERRIL (81), montrent également que les coefficients d'utilisation digestive des protides s'abaissent nettement quand le taux d'extraction s'élève. Pour des valeurs variables suivant l'origine des blés, valeurs comprises entre 89,4 et 84,9 pour un taux d'extraction de 72 p. 100, les coefficients apparents d'utilisation digestive des protides des mêmes blés ingérés par les mêmes sujets s'établissent entre 80,8 et 72 p. 100, pour un taux d'extraction de 85 p. 100. Ces coefficients s'abaissent encore quand on pousse davantage l'extraction. Les travaux plus récents d'HOLMES conduisent à des résultats semblables (36).

Toutes les périodes de disette, et spécialement celles qui ont accompagné et suivi les deux guerres mondiales ont vu l'éclosion de très nombreux travaux analogues à ceux que nous venons d'exposer. Dans l'ouvrage qu'il a consacré à l'étude du métabolisme de l'azote, TERROINE (74) fait état de certains de ces travaux qui, tous, dans le cas des céréales, s'accordent pour attribuer à l'accroissement de la fraction indigestible de la ration, c'est-à-dire aux membranes végétales, l'effondrement des coefficients de digestibilité des protides.

Les travaux récents consacrés au même sujet montrent le même parallélisme entre les accroissements du taux d'extraction des farines et de l'azote excrété par les fèces (29, 30, 61, 75). Aussi certains auteurs (82) pensent-ils que l'on peut estimer par le calcul le coefficient de digestibilité des protides des farines, d'après leur taux d'extraction.

Si, comme nous l'avons fait, nous faisons varier le taux d'extraction des farines non plus dans un régime exclusivement, ou en très forte proportion composé de pain, mais dans une ration bien équilibrée, tenant compte à la fois des habitudes et des besoins de l'individu, les phénomènes observés en ce qui concerne l'excrétion azotée sont les mêmes, quoique plus atténués. Dans un régime naturel, mixte, équilibré, bien pourvu en légumes divers, le remplacement de 400 g. de pain blanc fait avec une farine extraite à 75 p. 100 par un même poids de pain fait avec une farine entière de blé est accompagné d'un accroissement de l'azote fécal qui de 1,94 g. dans le cas du pain blanc s'élève à 2,73 g. (61) avec le pain noir. Ces chiffres sont les moyennes des résultats obtenus pour les sujets; les périodes expérimentales étaient de 6 jours. Les coefficients d'utilisation digestive de l'azote de la ration sont respectivement, dans chacune des phases de l'expérience, de 84,9 et de 78,9.

Dans l'expérience présentement décrite (x), deux sujets reçoivent une alimentation équilibrée, semi-synthétique. La substitution à 500 g. de pain blanc (farine au taux d'extraction de 79,8) d'un poids équivalent d'un pain fait avec une farine de blé non blutée fait passer l'excrétion azotée fécale journalière de 1,63 g. à 2,44 g. pour le premier sujet, de 1,52 g. à 2,53 g. pour le second. Les coefficients apparents de digestibilité de l'azote de la ration s'abaissent respectivement de 87,8 à 82 et de 88,6 à 81,1.

Ainsi, avec quelques différences dans l'amplitude du phénomène, différences dues essentiellement au régime alimentaire adopté pour la conduite de l'expérience, on peut dire que tous les renseignements concordent pour démontrer l'influence néfaste du son sur les coefficients de digestibilité des protides de la ration.

2°) Quelle est, dans le son,

la substance responsable de l'augmentation de l'azote fécal ?

Si nous quittons le domaine des farines et des pains et que nous envisageons d'autres sources alimentaires de membranes végétales ou autres éléments indigestibles, les résultats expérimentaux ne présentent plus la même concordance.

Conformément à ce que l'on a constaté dans le cas des farines à hauts taux d'extraction, certaines recherches montrent que l'adjonction de substances indigestibles à un régime provoque un accroissement de l'excrétion azotée fécale.

Ainsi MENDEL et FINE (51) administrent à des chiens, soit un régime de base constitué par du lard, du sucre et de la viande, soit ce même régime surchargé d'agar-agar ou de cendres d'os ou additionné de papier journal. Ils constatent une élévation notable de l'azote fécal, par rapport à la quantité d'azote excrétée pendant la période au régime de base. De même MITCHELL (56) a montré que l'adjonction de papier filtre à un régime dépourvu de protides provoque, chez le rat, un accroissement de l'azote fécal rejeté. Dans ce dernier cas il ne peut naturellement s'agir que d'azote d'origine endogène.

(x) - Pour les détails techniques concernant cette expérience se reporter à la 4ème partie de ce travail.

Tableau VII

Périodes	Poids des fèces en g.		Poids sec en g.		Matière sèche en g. p. 100 g.		N fécal en g.		N fécal en g. p.100g. mat.sèche	
	1° suj.	2° suj.	1° suj.	2° suj.	1° suj.	2° suj.	1° suj.	2° suj.	1° suj.	2° suj.
A) Alimentation naturelle.										
15-17 J	915	547	97,6	82,3	10,6	15,1	4,9	5,8	5	7
18-20 J	850	589	89,8	94,2	10,5	16	4,7	5,8	5,2	6,1
Moy. journ.	294	189	31,2	29,4			1,6	1,93	5,1	6,5
B) Pain blanc + 6 g. de papier filtre										
22-24 J	552	296	96,2	78,8	17,4	26,6	4,6	3,6	4,8	4,6
25-27 J	619	401	109,4	113	17,6	27,6	5,2	5,2	4,7	4,65
28-29 J	362	224	65,5	56	18,1	25,3	3,1	3,4	4,7	6,1
Moy. journ.	192	115	33,9	31			1,6	1,52	4,7	4,9
A) Alimentation naturelle										
1-3 F	824	326	95	72	11,5	22	5,6	4,8	5,9	6,7
Moy. journ.	275	109	31,7	24			1,87	1,61	5,9	6,7
C) Pain complet										
5-7 F	761	653	154,5	179,8	20,2	27,1	6,7	8	4,3	4,4
8-10 F	868	615	177	161,6	20,3	26,2	7,4	7,4	4,2	4,6
11-12 F	556	362	107	95,1	19,2	26,2	5,4	4,9	5	5,2
Moy. journ.	273	204	54,8	54,5			2,44	2,53	4,45	4,6
A) Alimentation naturelle										
15-17 F	714	370	91	77,6	12,7	21	5,6	5,2	6,2	6,7
18-19 F	696	272	74,5	59	10,7	21,6	4	3,5	5,4	5,9
Moy. journ.	282	129	33,1	27,4			1,92	1,74	5,8	6,3
D) Pain blanc										
22-24 F	505		83,6		16,6		5		6	
25-27 F	554		84,7		15,1		4,8		5,6	
Moy. journ.	176,5		28				1,63		5,8	
A) Alimentation naturelle										
2-4 M	904	522	107,6	95	11,8	18,1	5,7	5,9	5,3	6,2
Moy. journ.	301	174	35,9	31,7			1,9	1,96	5,3	6,2
E) Pain complet (son épuisé à l'eau)										
6-8 M	815	672	169,2	168	20,7	25	6,6	6,75	3,9	4
9-11 M	803	551	171,4	154	21,2	28	6,6	6,2	3,9	4
12-13 M	583	450	126	118	21,6	26,3	4,8	4,3	3,8	3,65
Moy. journ.	275	210	58,3	55			2,25	2,16	3,9	3,9
A) Alimentation naturelle										
16-18 M	787		90,4		11,5		5,5		5,2	
Moy. journ.	262		30,1				1,83		5,2	
F) Pain blanc + extrait de son										
20-22 M	581		85,3		14,6		6,3		7,4	
23-25 M	547		73,8		13,5		5,2		7,1	
26-27 M	329		56,1		17,1		4,4		7,9	
Moy. journ.	182		27				2		7,4	

Mais d'autres expériences, assez nombreuses, réalisées sur l'animal ou sur l'homme, prouvent que l'addition au régime, soit de cellulose administrée sous forme de papier, soit de membranes végétales d'origines diverses, soit d'autres substances encombrantes non digestibles, ne s'accompagne d'aucune modification de la teneur des fèces en azote.

C'est ainsi que WEINERT (78) donne à des moutons un régime contenant plus de 30 p. 100 de sable et ne constate aucun changement dans l'utilisation digestive des protides de la ration. Dans une expérience réalisée sur deux hommes adultes, FOLLING (21) surcharge le régime avec des quantités très considérables de cellulose de bois, de 75 à 100 g. par jour. Pour l'un des sujets, l'excrétion azotée fécale est un peu augmentée, pour l'autre elle est diminuée. Les travaux de LEHMAN permettent également de n'attribuer aucun rôle aux résidus indigestibles dans l'excrétion azotée fécale (44). Mais les arguments les plus convaincants sont ceux qui découlent des recherches d'ADOLPH et MAO-YI-WU, réalisées sur le rat et sur l'homme (2). Ces auteurs ajoutent au régime de base ingéré par des rats, des quantités variables de papier, d'agar-agar de balle de riz et d'argile, ces deux dernières substances étant consommées en abondance par les Chinois, pendant les périodes de famine. Sauf dans le cas d'une teneur de 40 p. 100 du régime en agar-agar, il n'y a pas d'augmentation de l'azote fécal excrété, même pour des proportions de 20 p. 100 de papier filtre et de balle de riz, ou de 80 p. 100 d'argile. Dans une autre expérience des mêmes auteurs, deux hommes reçoivent, en plus d'un régime témoin constitué essentiellement par de la viande et du riz, une préparation de choux pressés, cuits, pressés à nouveau et séchés ou non, en quantité telle qu'elle fournisse 25 g. de cellulose brute par jour, correspondant à 2,500 kg. de choux frais, poids ne s'écartant pas sensiblement des conditions normales d'alimentation des paysans du nord de la Chine qui se prêtaient à l'expérience. Avec ou sans cette surcharge cellulosique, l'excrétion azotée fécale était pratiquement la même.

Par des expériences réalisées sur le rat, JACQUOT montre également que l'incorporation de papier filtre au régime de base n'a pas d'effet sur les coefficients d'utilisation digestive des protides de la ration (39).

TREMOLIERES et ERFMANN reprochent à certaines de ces expériences leur trop courte durée (75). Selon ces auteurs le passage d'un régime à un autre s'accompagne d'un lent décalage compris entre 4 et 9 jours au bout desquels l'excrétion azotée et le poids des matières fécales reflètent bien l'influence du nouveau régime. Ce décalage, indéniable dans le travail des auteurs, n'avait jamais été signalé et nous ne l'avons pas retrouvé au cours de nos expériences personnelles. Dès le deuxième jour d'une période expérimentale, nous avons toujours constaté l'établissement de l'excrétion azotée et du poids fécal à un taux très différent de ceux observés dans la période précédente, et ce taux est demeuré sensiblement constant tout au long d'une même période (voir tableau VII).

Par l'emploi d'un régime semi-synthétique équilibré constitué afin d'être certain, autant que possible, de la constance des ingesta et de la satisfaction des besoins des sujets en expérience, nous avons comparé l'excrétion azotée fécale de deux

adultes pendant des périodes de 9 jours. Chacune des périodes était séparée de la suivante par un intervalle de 5 jours à alimentation naturelle équilibrée, afin de se trouver au début de chaque période dans les conditions initiales.

Les deux périodes B et D ne diffèrent que par l'addition journalière au régime de base utilisé en D, de 6 g. de papier filtre sans cendres pendant la période B.

On peut constater que, dans chacune de ces deux périodes, la moyenne journalière de l'excrétion azotée fécale est pratiquement la même, 1,63 g. sans ingestion de papier filtre, 1,60 g. avec papier. D'autre part on voit, d'après le poids des fèces et la quantité d'azote rapportée à 100 g. de matières fécales sèches, que le passage d'une période quelconque à une autre s'accompagne d'une modification immédiate, importante et durable des caractères des fèces.

Une série d'autres expériences, réalisées sur le son de blé, montre que lorsqu'on fait subir à ce produit, un traitement aussi simple qu'un épuisement à l'eau et qu'on consomme ce son épuisé incorporé à la farine, l'excrétion azotée fécale est notablement moindre que dans l'ingestion de son naturel. Ainsi pour le sujet n° I, la teneur moyenne, par jour, des matières fécales en azote qui était de 2,44 g. avec le régime à base de pain de farine entière de blé, s'abaisse à 2,25 g. lorsque les vingt centièmes du grain qui correspondent aux remoulages et aux divers sons ont été épuisés à l'eau. (Comparer les périodes C et E du tableau VII). Pour le deuxième sujet, les résultats sont encore plus nets : la comparaison des moyennes journalières de la teneur des fèces en azote étant respectivement de 2,53 g. et de 2,16 g. (période C et E du tableau VII). Remarquons que les régimes correspondant à ces deux périodes sont identiques, à cela près que dans un cas, les produits que l'on rejette lorsqu'on veut obtenir de la farine à 79,8 p. 100 d'extraction sont épuisés à l'eau. De plus, cette diminution de l'excrétion de l'azote contenu dans les fèces a été obtenue dans la période où cellulose, hémicelluloses et lignine étaient ingérées en plus grandes quantités (32 g. environ au lieu de 27 g.).

De ces derniers résultats expérimentaux, il faut rapprocher ceux de FUNNEL, VAHLTEICH, MORRIS, Mac LEOD et ROSE montrant que la cellulose brute préparée à partir du son a, sur la formation et les caractères des fèces, une action minime par rapport à celle du son d'origine (23).

En résumé, on peut dire que l'ingestion de son s'accompagne toujours d'une élévation des quantités d'azote excrétées par les fèces. Sans preuves suffisantes, on en a attribué la cause aux résidus indigestibles, aux débris de membranes végétales, et cette notion est devenue classique. Cependant, en dépit des travaux de RUBNER et THOMAS (68) qui montrent que l'excrétion azotée fécale s'accroît en même temps que les quantités de substances indigestibles ingérées, de nombreuses recherches ont contredit cette manière d'envisager le problème. La plupart de ces travaux ont montré que l'ingestion de quantités parfois considérables de produits indigestibles très divers, le plus souvent très riches en membranes végétales (sciure de bois, choux pressés, papier, cellulose brute du son de blé), ne provoque aucune modification de l'azote des fèces. Nous venons de montrer aussi que le simple traitement par l'eau du son ingéré

traitement qui ne peut, comme nous l'avons vu, modifier en rien les caractères des constituants spécifiques des membranes, conduit à une diminution sensible de l'excrétion d'azote fécal par rapport à la période où ce son est ingéré tel quel.

Il s'est constitué ainsi un faisceau de données qui tendent à prouver, contrairement à ce qui a été généralement admis à la suite de nombreuses expériences, que s'il est bien exact que l'ingestion des parties périphériques du grain de blé est accompagnée d'un accroissement des quantités d'azote excrétées par les fèces, cette action ne semble pas devoir être attribuée directement à la présence des éléments indigestibles de la ration et en particulier des membranes.

A quelle substance faut-il donc attribuer cet accroissement de l'azote fécal éliminé et la baisse des coefficients d'utilisation digestive des protides de la ration constatés chaque fois que l'on ingère du son ?

Pour dégager nettement la responsabilité des membranes et plus particulièrement de certains de leurs constituants : cellulose, hémicelluloses et lignine, il restait à démontrer que l'on pouvait à partir du son, préparer des produits exempts de membranes qui, ingérés, provoqueraient un accroissement de la quantité d'azote contenue dans les fèces et c'est ce que nous avons fait.

Par l'incorporation à la farine au taux d'extraction de 79,8 d'un extrait aqueux correspondant aux 20,2 centièmes restant que nous appelons : son, mais qui comprennent aussi les remoulages, nous obtenons une sorte de pain ne contenant pas plus de matériaux provenant des membranes que n'en contient le pain fait avec la seule farine extraite à 79,8 p. 100. La préparation de cet extrait est décrite dans la 4ème partie de ce travail. Notons que cet extrait est le complément du son épuisé à l'eau qui a servi à la préparation du pain utilisé en période E (voir tableau VII). Ce fait nous a permis de constater, par rapport à la période C où le pain est fait avec de la farine entière de blé, une diminution importante de l'excrétion azotée fécale.

Si, consultant le tableau VII, nous comparons les résultats obtenus pendant les périodes D et F, c'est-à-dire deux temps de l'expérience où l'alimentation ne diffère que par l'ingestion en F, d'une certaine quantité d'extrait aqueux de son, nous constatons, dans les caractères des fèces, des divergences sensibles :

- La moyenne journalière de l'excrétion azotée fécale qui est de 1,63 g. en D, période à base de pain blanc, s'élève à 2 g. en F, ce qui est très considérable si l'on note que le son n'ayant subi aucun traitement, établit le niveau quotidien de l'azote fécal à 2,48 g., en moyenne, pour les deux sujets.

- Si nous rapportons les résultats à 100 g. de matières fécales sèches, la différence entre les quantités d'azote excrété apparaît encore plus nettement : 5,8 g. p. 100 en moyenne pour la période D à base de pain blanc, 7,4 g. en période F où l'extrait de son est ingéré. Notons pourtant, qu'au cours de ces deux périodes, le poids sec des matières fécales est presque le même : 28 g. dans la période D et 27 g. en F.

Si nous comparons le taux de l'excrétion azotée fécale pendant les périodes B et F toutes deux à base de pain de farine à 79,8 p. 100 donc de pain blanc, mais où étaient consommés, en période B, 6 g. de papier filtre, et en F, de l'extrait de son, nous constatons alors qu'en période B, l'excrétion azotée moyenne (1,60 g.) est identique (avec 1,63 g.) à celle de la période D où le régime ne contient pas de papier filtre, cette excrétion s'établit à deux grammes d'azote par jour pendant la période F. Du fait qu'elle ne comporte pas de papier, la période F correspond à un régime beaucoup plus pauvre en éléments indigestibles qu'en B où l'excrétion azotée est pourtant notablement moindre.

- Une comparaison entre les périodes :

- C, à base de farine de blé entier ;

- E, à base de pain identique au précédent à cela près que les 20,2 centièmes correspondant aux remoulages et aux sons ont été épuisés à froid par de l'eau ;

- F, à base de pain dont la farine extraite à 79,8 p. 100 était additionnée de l'extrait aqueux préparé à partir du liquide d'épuisement des 20,2 centièmes, révèle les faits suivants :

Le pain utilisé en E se montre nettement moins actif que le pain ingéré en C, sur l'excrétion azotée fécale. Mais en compensation l'extrait aqueux est actif.

Ces résultats d'expérience nous permettent de penser que les facteurs responsables de l'accroissement très important de quantités d'azote éliminées par les fèces se trouvent dans la fraction du son soluble dans l'eau.

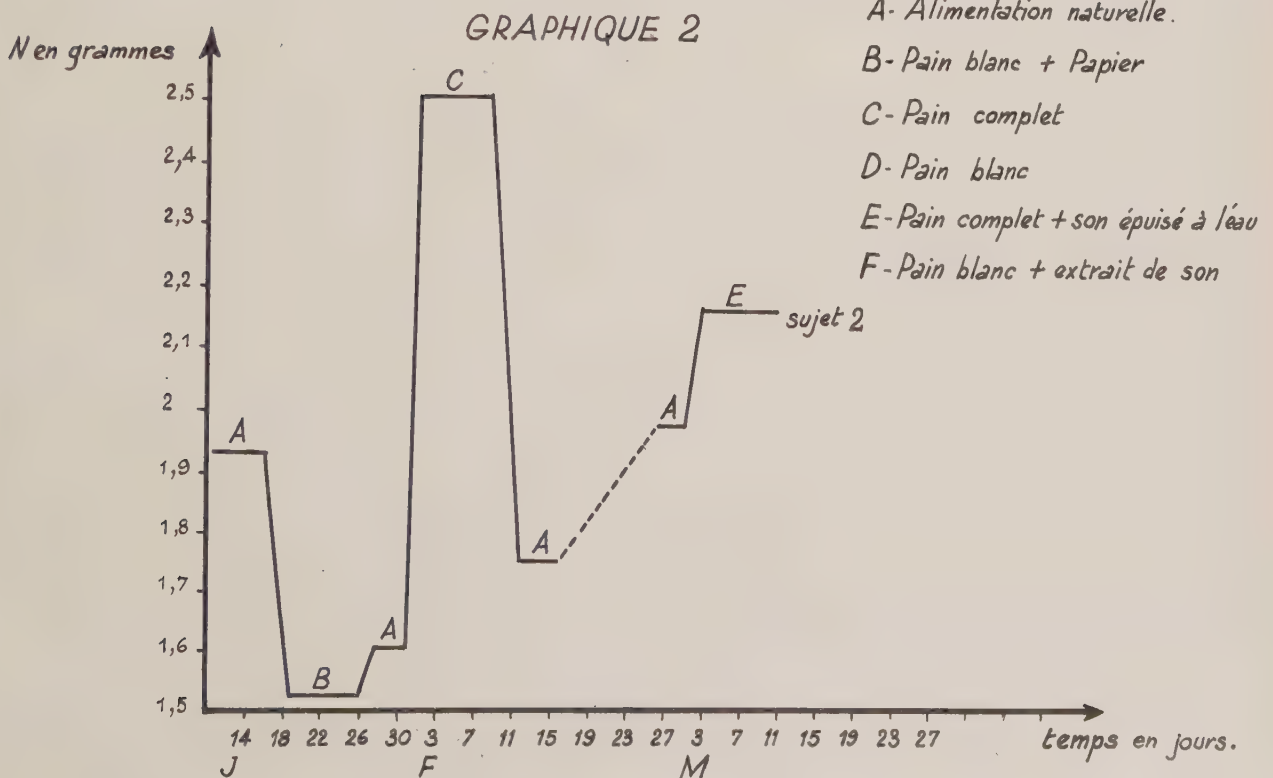
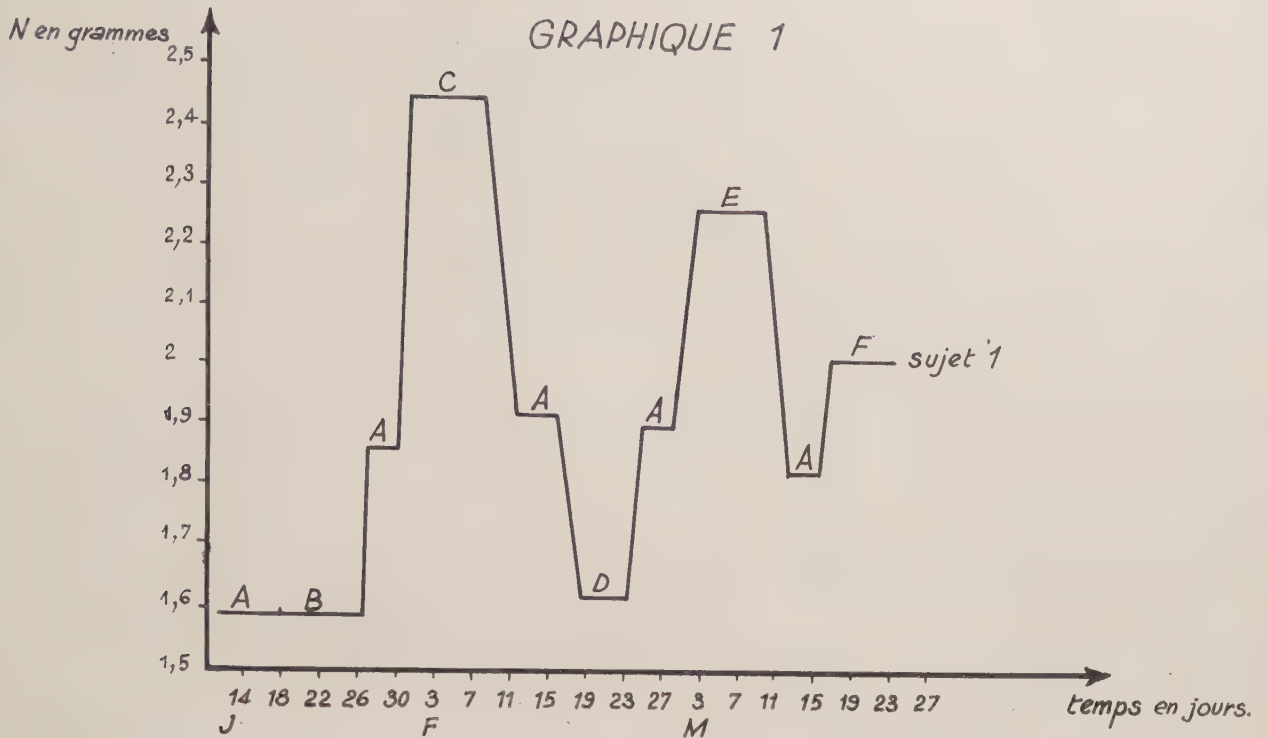
Dans une conférence récente JACQUOT, après avoir disculpé la cellulose de son prétendu rôle dans l'amoindrissement des coefficients d'utilisation digestive des protides de la ration, émet l'hypothèse, qu'il reconnaît d'ailleurs assez peu soutenable pour l'instant, d'une intervention possible des pentosanes du son. Ils en sont, en effet, l'élément le plus abondant, ce qui est pourtant une raison insuffisante (39).

Or, nos expériences qui ne font intervenir qu'un simple traitement du son par l'eau incapable de dissoudre les pentosanes, comme des essais antérieurs pratiqués sur le son nous l'ont montré (21 b), vont à l'encontre d'un rôle possible joué par les pentosanes.

En période E, l'ingestion de pentosanes est plus forte qu'en période C. Cependant en E l'excrétion azotée fécale est plus faible qu'en C et ceci avec beaucoup de constance chez les deux sujets en expérience (voir tableau VII, périodes C et E).

D'autre part, (voir tableau VII, périodes D et F) à une même quantité de pentosanes ingérés, quantité d'ailleurs minime, correspondent des taux d'excrétion différents, donc des coefficients d'utilisation digestive variables du seul fait de l'addition, en période F, d'un extrait aqueux de son qui ne contient pratiquement pas de pentosanes.

Le taux de l'élimination d'azote par les fèces, en fonction des diverses périodes expérimentales, figure dans les graphiques 2 et 3 qui résument les faits que nous venons d'exposer.



A- Alimentation naturelle.

B- Pain blanc + Papier

C- Pain complet

D- Pain blanc

E- Pain complet + son épuisé à l'eau

F- Pain blanc + extrait de son

Teneur journalière des fèces en azote

Certains auteurs ont prétendu que l'influence du son sur les caractères des fèces était due à sa teneur en acide phytique (40), opinion qui est en désaccord avec les résultats de COWGILL et ANDERSON (14). Après traitement par un acide dilué qui extrait l'acide phytique, ces derniers auteurs constatent que le son a encore une influence considérable sur la formation et les caractères des matières fécales.

Il faut bien reconnaître que l'on ne connaît pas les facteurs responsables de l'accroissement de l'azote fécal. Toutefois, nous pensons pouvoir émettre une hypothèse que nous appuierons ultérieurement par quelques faits.

Dans une étude consacrée à la composition des farines en fonction de leur taux d'extraction, nous avons montré, en collaboration avec L. RANDOIN et DELAROUZEE que, parallèlement à la cellulose brute, l'élévation du taux d'extraction était accompagnée d'un accroissement des teneurs en éléments vitaminiques et minéraux (60). La présence d'oligo-éléments minéraux, tels que le fer, le manganèse, le zinc en quantité beaucoup plus importante dans les parties périphériques du grain de blé, que dans l'amande, est une donnée maintenant classique. L'énorme teneur en vitamine B1 du scutellum (22, 35), sa richesse en autres facteurs du groupe vitaminique B et en fer (35) sont également connues.

D'autre part, les bactéries des fèces de l'homme, au moins les bactéries cellulolytiques que nous avons envisagées spécialement dans la deuxième partie de ce travail, sont sous la dépendance étroite de certains facteurs qui se trouvent dans les matières fécales, facteurs dont elles ne peuvent plus faire la synthèse. On sait aussi que les vitamines du groupe B en particulier, sont, pour de nombreux microorganismes, de véritables facteurs de croissance et que cette propriété a été mise à profit pour doser ces substances.

On conçoit que l'ingestion, sous forme de farine entière de blé, d'un aliment riche en substances biologiquement très actives, vitamines et oligo-éléments minéraux, puisse, par rapport à l'ingestion de pain blanc, avoir une influence considérable sur le développement de la flore intestinale. A une plus grande prolifération des bactéries dans l'intestin correspond certainement un accroissement d'azote d'origine bactérienne.

3°) Origine de l'azote contenu dans les matières fécales.

Si les constituants des membranes végétales du son ne peuvent être considérés comme directement responsables de l'augmentation de l'azote contenu dans les fèces, ils peuvent avoir une action indirecte, en fournissant aux bactéries intestinales un substrat abondant qu'elles utilisent dans une certaine mesure comme nous l'avons exposé dans la troisième partie de ce travail. D'autre part, nous avons montré et nous précisons que les membranes végétales contiennent des matières azotées solidement engagées, qui résistent aux agents chimiques et biochimiques. Une partie importante de ces matières azotées va se retrouver dans les fèces. Aussi est-il nécessaire d'étudier spécialement l'origine de l'azote contenu dans les matières fécales afin d'expliquer, si possible, les causes du recul des coefficients d'utilisation digestive des

protides de la ration que l'on constate lors de l'ingestion du son de blé.

L'azote des fèces a une triple origine :

- Il peut provenir des résidus alimentaires non digérés : c'est l'azote d'origine exogène.

- Si cet azote vient des sucs digestifs non réabsorbés, des cellules desquamées de l'épithélium du tube digestif, il est d'origine endogène.

- L'azote des bactéries qui peut être d'origine exogène et endogène.

A - Origine exogène.

Nous nous sommes demandé d'abord dans quelle mesure l'accroissement de l'excrétion azotée fécale consécutive à l'ingestion du son de blé pouvait s'expliquer par une élévation des quantités d'azote d'origine exogène.

Nous avons expérimenté sur le son et sur les différents pains ayant servi dans les diverses périodes.

a) Digestibilité des protides du son de blé.

Le son employé était en fait le mélange des parties aliquotes des trois produits : remoulages, fins sons et gros sons qui correspondent aux 20,2 centièmes du grain de blé que l'on sépare de la farine extraite à 79,8 p. 100.

Ce mélange que nous désignons plus commodément sous le nom de son, renfermait 2,82 g. d'azote p. 100 g. Soumis à des digestions artificielles pepsiques pendant 6 h., puis pancréatiques pendant 24 h., ce son fournissait un résidu qui, rassemblé par filtration sur toile et analysé, contenait 0,220 g. d'azote.

Si nous comparons les régimes alimentaires que nous avons utilisés pendant les périodes B et D d'une part, à base de pain blanc (farine extraite à 79,8 p. 100) et d'autre part, la période C à base de pain fait avec une farine entière de blé (voir tableau VII) nous voyons que le régime C conduit, en moyenne, pour les deux sujets, à un excédent d'environ 0,90 g. d'azote fécal. Les régimes C et D diffèrent essentiellement par l'ingestion en C de 70 g. de son chaque jour. Si nous étendons à ce dernier chiffre les résultats que nous venons d'établir au sujet de la quantité d'azote indigestible du son, c'est donc environ 0,15 g. d'azote fécal auquel on peut supposer une origine exogène. Cette quantité est faible mais non négligeable; elle représente le sixième environ de l'augmentation de l'azote fécal consécutive à l'ingestion de son dans les conditions expérimentales que nous avons choisies. Remarquons, toutefois, que ces résultats proviennent de recherches réalisées in vitro.

b) Digestibilité des protides de différents pains.

Des poudres de différents pains ont été soumises, comme le son, à des digestions artificielles pepsiques, puis pancréatiques. Ces pains sont ceux qui entrent dans la composition des régimes utilisés dans les périodes de l'expérience dont nous venons de donner les résultats concernant l'excrétion d'azote fécal.

Le tableau VIII mentionne les quantités d'azote ayant résisté à la digestion artificielle.

La deuxième colonne de résultats indique les quantités d'azote d'origine exogène qui correspondent à l'ingestion de 500 g. de pain frais. En comparant les derniers chiffres à ceux de l'excrétion d'azote fécal qui figurent dans la troisième colonne, on se rend compte que l'azote provenant de l'indigestibilité d'une partie des protéides des différents pains ne doit intervenir que pour une faible part dans l'augmentation de l'azote des fèces consécutive à l'ingestion de son ou de produits qui en dérivent.

Tableau VIII

Désignation des périodes et des pains	Azote non digéré p. 100 g. sec.	Azote non digéré par jour	Azote fécal (moyenne journalière)
	en mg.	en mg.	en mg.
B et D - blanc	39	131	1.560
C - complet	95	296	2.480
F - blanc additionné d'extrait de son	45	150	2.000
E - complet dont le son a été épuisé par l'eau...	74	230	2.200

Nous venons de voir que le son ingéré chaque jour en période C pouvait fournir un déchet azoté correspondant à 0,15 g. d'azote environ. Si nous comparons l'azote non digéré du pain blanc et du pain complet, nous voyons une différence de 0,16 g. Les deux chiffres précédents présentent une concordance satisfaisante. Sans pouvoir chiffrer d'après ces expériences réalisées in vitro, l'intensité du phénomène dans le tube digestif, il est certain que l'ingestion du son s'accompagne d'un léger accroissement d'azote fécal d'origine exogène. Mais cet accroissement, à lui seul, ne peut rendre compte de l'élévation considérable des quantités d'azote fécal, provoquée par l'ingestion de son. Pour bien se persuader que l'azote d'origine exogène n'est pas seul en cause, il y a lieu de remarquer que les pains blancs et blancs

additionnés d'extraits de son présentent, en digestion artificielle, des quantités d'azote indigestible semblables et que pourtant, l'ingestion d'extrait de son s'accompagne d'un accroissement important de l'azote fécal.

Nous venons de rapporter l'indigestibilité d'une petite fraction des substances azotées du son à leur incrustation dans les membranes. Elle peut aussi s'expliquer par le rôle protecteur des membranes végétales sur le contenu cellulaire vis-à-vis des sucs digestifs. Certaines assises périphériques du grain de blé et, particulièrement l'assise protéique, possèdent une armature de membrane épaisse qui, nous l'avons vu, ne se rompt pas au cours des travaux digestifs. Et le nom même de cette assise indique bien quelles sont les substances qui bénéficient de cet isolement.

Ce facteur de protection mérite une attention spéciale. La plupart des travaux qui ont dégagé les membranes végétales de leur éventuelle responsabilité dans la diminution des coefficients d'utilisation digestive ont été réalisés soit avec ce que l'on peut appeler des concentrés de membranes obtenus par des traitements mécaniques ou chimiques, soit avec de la sciure de bois, soit avec du papier. Dans tous les cas, il y a lieu de penser que la quantité de matière azotée, engagée dans la membrane ou protégée par elle, est minime. Avec le son de blé, c'est évidemment différent, car des matières protéiques sont murées par les parois épaisses des membranes.

Si le rôle protecteur des membranes du son peut expliquer dans une certaine mesure l'augmentation de l'azote fécal, nous ne pensons pas qu'il en soit la seule cause. Les digestions artificielles effectuées sur le même son de blé, qui mélangé à la farine blanche fournit une farine entière de blé, font apparaître un indigestible azoté de 0,15 g. pour les 70 g. de son consommés par jour. L'indigestion de ce son provoque une augmentation de l'azote fécal 6 fois plus forte. D'autre part, nous avons vu, qu'indépendamment de toute influence des membranes, l'excrétion azotée peut être accrue par un extrait de son. Enfin, et en accord avec nos résultats d'expérience, les travaux d'HEUPKE (32, 33) ont montré que les diastases protéolytiques ou autres pouvaient traverser facilement les membranes végétales.

Cet auteur trouve que les protides des cellules à aleurones du blé sont digérés dans la proportion des $\frac{3}{4}$ par le suc intestinal. De même BOOTH et MORAN (13) constatent, par un examen microscopique d'échantillons de son soumis à des digestions artificielles, que le contenu des cellules à aleurones a presque complètement disparu. Mais il s'agit dans les deux cas d'observations faites in vitro.

B - Origine endogène.

Nous venons de voir que l'augmentation de l'azote des fèces consécutive à l'ingestion de son de blé ne pouvait s'expliquer uniquement par l'indigestibilité des matières azotées qu'il contient. Une part importante de cette augmentation doit être recherchée parmi les sources de l'azote fécal d'origine endogène.

Un autre argument est en faveur de l'origine endogène de l'accroissement des pertes azotées fécales produites par l'ingestion de son. Mac CANCE montre, d'après les chiffres suivants, que les quantités d'azote ingérées n'influent pas directement

sur le taux de l'excrétion d'azote.

	Teneur en azote	
	Aliments (x)	Fèces
	en g.	en g.
Manitoba 90 p. 100 extraction	125	1,73
Anglais 90 p. 100 extraction	84	1,68
Manitoba 80 p. 100 extraction	130	1,19
Anglais 80 p. 100 extraction	82	1,36

(x) - Ces chiffres correspondent certainement à des protides.

Ainsi, des farines dont la teneur en azote est très différente, ingérées en même quantité, conduisent à une même perte d'azote fécal (46).

a) Influence du son sur la vitesse du transit intestinal.

De nombreux auteurs ont rapporté l'influence défavorable des résidus indigestibles, plus particulièrement du son de blé, sur l'absorption intestinale à l'accroissement de vitesse du transit intestinal qu'ils provoquent. Ainsi, ADOLPH et WU (2) ne constatent une élévation des quantités d'azote fécal que lorsque le transit intestinal est accéléré, ce qui ne se produit, dans les expériences de ces auteurs, qu'avec une surcharge considérable en agar-agar.

COWGILL et ANDERSON (14), puis COWGILL et SULLIVAN (15) étudient l'effet laxatif du son de blé. Par leurs études effectuées sur l'homme, ces auteurs établissent que le son de blé brut ou traité par une solution acide a un pouvoir laxatif marqué. La relation existant entre la teneur du son en cellulose brute et le pouvoir laxatif est quantitative. Ils établissent que la ration journalière en cellulose brute doit être de 90 à 100 mg. par kg. soit pour l'adulte normal de 6 à 7 g. Notons que l'effet laxatif apparaît régulièrement chez tous les sujets en expérience ingérant des doses croissantes de son, mais qu'il n'en est plus de même lorsque ce sont des légumes et des fruits qui apportent la même quantité de cellulose brute.

L'effet laxatif de la cellulose brute est déterminé par ces mêmes auteurs de deux façons :

- par le taux de laxation, défini comme étant le rapport entre le poids de

matières fécales recueillies à chaque défécation au poids total de matières par jour où ce qui revient au même, le nombre de défécations pendant ce temps;

- par l'intervalle de temps existant entre les défécations.

Nous avons préféré, dans nos expériences (x), mesurer aussi exactement que possible la vitesse du transit intestinal. Cette mesure ne pouvait être faite qu'en prenant le plus grand soin de ne pas modifier les conditions de fonctionnement de l'appareil digestif.

Renonçant à l'emploi classique du charbon ou de certains colorants, dont l'action sur les ferments digestifs et le développement des bactéries intestinales est insuffisamment précisée, nous nous sommes adressé, pour marquer nos repas, au sulfate de baryum. Nous nous étions assuré au préalable que ce sel n'a pas d'influence sensible sur l'activité de certaines préparations diastasiques telles que la pepsine et la pancréatine.

Un cachet de 1 g. de sulfate de baryum est ingéré à un repas déterminé. Le sulfate de baryum est recherché dans les matières fécales homogénéisées, par pesée d'éléments minéraux insolubles dans l'acide chlorhydrique dilué. Ce poids normalement très faible, s'accroît considérablement au moment où le sulfate de baryum est éliminé. Le sulfate de baryum est ingéré vers le milieu de chaque période expérimentale, à deux reprises, séparées par 3 jours d'intervalle.

D'autre part, l'alternance au cours de l'expérience des régimes naturel et synthétique permet, d'après les caractères très différents des fèces correspondantes, de faire des observations au sujet de la vitesse du transit intestinal. La présence en régime naturel de débris de carottes, en régime semi-synthétique de déchets en provenance du son, décelables au seul examen visuel permet de juger de la vitesse du transit intestinal au début et à la fin de certaines périodes expérimentales.

La durée du transit intestinal ainsi déterminée fait l'objet du tableau suivant:

Tableau IX

Période expérimentale	Durée du transit (en heures)	
	Sujet n° 1	Sujet n° II
A - Alimentation naturelle	19 à 36	30 à 43
B - Pain blanc + 6 g. papier filtre	36 à 48	36 à 48
D - Pain blanc seul	24 à 48	
C - Pain complet	19 à 43	30 à 48
E - Pain complet (son épuisé à l'eau)	24 à 40	36 à 48
F - Pain blanc additionné d'extrait de son ..	24 à 40	

(x) - Pour les détails techniques concernant cette expérience se reporter à la 4ème partie de ce travail.

L'examen des chiffres de ce tableau ne montre aucune différence fondamentale dans les durées du transit digestif. On ne peut y relever qu'une tendance légère à l'accélération, pendant les périodes où du son était ingéré.

Cette constance relative dans la vitesse du transit intestinal, en dépit de son caractère expérimental, est très surprenante.

Notons d'abord qu'une telle constatation n'est pas exceptionnelle. BINET, CROSNIER et MARGUERITTE (11) font état des travaux de CROSNIER (16) sur l'homme, où cet auteur compare les vitesses de transit intestinal de 24 individus nourris avec des farines de blé à différents taux d'extraction. Ajoutées à un même régime de base, le pain et la farine au taux d'extraction de 98 p. 100 provoquent seulement une accélération de vitesse de transit de 1 heure $\frac{1}{2}$ par rapport à la farine et aux biscottes au taux d'extraction de 80 p. 100. La vitesse de transit normal étant, d'après HEUPKE (34) de 24 à 30 heures, cette accélération est minime. BINET et ses collaborateurs rapportent ce peu de différence à l'influence régularisante du régime de base.

Cependant, il nous faut faire état d'une autre expérience, beaucoup plus générale, dont les conclusions vont à l'encontre des résultats précédents.

Dans les années qui ont précédé la guerre de 1939, la plupart des habitants de l'Europe, en particulier les Français, consommaient abondamment un pain de farine fortement blutée. On peut dire qu'à cette époque, la constipation sévissait à l'état chronique et les milieux médicaux s'étaient émus de cet état de choses (20). Au cours de ces dernières années, pendant lesquelles les habitants des pays occupés se sont nourris de pain de blé entier, on a pu constater un renversement complet de la situation. Les cas de constipation se sont raréfiés tandis que se généralisaient, sur une vaste échelle, les cas où les individus présentaient un état permanent de laxation. C'est au son, et dans le son, aux résidus indigestibles que l'on a rapporté ce changement radical dans les fonctions intestinales.

Ainsi, les conclusions de cette expérience dont des millions d'individus peuvent porter témoignage et les résultats précités de travaux beaucoup plus limités quant au nombre de sujets examinés semblent être en contradiction formelle. Pourtant cette contradiction disparaît aisément si nous faisons intervenir d'importantes découvertes récentes.

Les travaux de MINZ seul (52, 53, 54), ou associé à BINET (12), AGID (4), BEAUVALLET (3) ou PLOTKA (55), ceux de E. et R. ABDERHALDEN (1), ont montré l'action de la vitamine B1 sur les contractions musculaires. Cette vitamine sensibilise l'action de l'acétylcholine. La cocarboxylase favoriserait la synthèse de l'acétylcholine à partir de la choline (54, 55). Cet effet activant de la vitamine B1 a été mis en évidence sur l'intestin isolé du rat (3); l'intestin grêle de pigeons carencés en aneurine est moins sensible à l'action de l'acétylcholine que ne l'est l'intestin d'animaux nourris normalement (1). En dehors de la vitamine B1 dont le rôle sur la contraction intestinale, donc sur le transit, est considérable, il semble que certaines autres vitamines du groupe B, telle l'adérmine ou vitamine B6, agissent sur la péristaltisme intestinal (68 b).

Si nous considérons le mode d'alimentation en usage avant 1939, en France, alimentation à base de farine fortement blutée, on peut facilement rapporter la fréquence des cas de constipation à une carence fruste en vitamine B₁, carence trop légère pour faire apparaître les grands syndromes d'avitaminoses que l'on rencontre en Extrême-Orient, mais suffisante pour causer des troubles. Lorsque la base alimentaire est devenue la farine non blutée, l'apport de vitamine B₁ a considérablement augmenté et l'intestin est passé de l'atonie à un régime de contractions répétées, ceci indépendamment d'autres modifications intestinales provoquées par la malpropreté des farines que nous nous contentons d'appeler non blutées.

Dans l'expérience dont nous faisons état dans ce travail, nous nous sommes efforcé de constituer des régimes aussi semblables que possible, aux membranes près. Dans de telles conditions, nous ne trouvons pas de différences très nettes dans les vitesses de transit intestinal. Cette constatation s'accorde parfaitement avec les découvertes de MINZ et d'ABDERHALDEN. Elle ne s'oppose pas aux multiples observations que l'on a pu faire avant ou pendant la guerre.

Cependant, presque indépendamment de la notion de vitesse du transit intestinal nous avons constaté une élévation des quantités d'azote fécal dans toutes les périodes où du son ou des produits en dérivant (extrait, son épuisé) étaient ingérés. C'est donc que d'autres facteurs sont responsables de l'accroissement de l'azote éliminé.

L'effet laxatif du son n'apparaît d'ailleurs pas davantage dans nos expériences si on veut l'évaluer d'après le nombre des fèces par jour ou l'intervalle de temps séparant deux défécations successives. Chez le sujet n° 1, il y avait très régulièrement une selle par jour quel que soit le régime alimentaire administré. Par contre le débit fécal du sujet n° 2 était extrêmement irrégulier mais au total, pour chaque période, nous obtenions des indications semblables.

COWGILL et ANDERSON proposent également, en plus des moyens que nous venons d'étudier, d'évaluer l'effet laxatif d'après l'humidité des fèces, leur poids journalier, les rapports de l'indigestible rejeté à l'indigestible ingéré; ils proposent de tenir compte des impressions subjectives (14). Nous reviendrons ultérieurement sur ce dernier point.

Une forte proportion d'eau dans les fèces traduirait un séjour écourté dans le gros intestin. Les auteurs reconnaissent cependant que ce critère est sans valeur. Dans nos expériences (voir tableau VII) nous constatons que le pourcentage de matières sèches des fèces est selon les sujets de 17 et 23 p. 100 environ dans les périodes à base de pain blanc, qu'il est de 20 et 26 p. 100 dans les périodes à base de pain complet. La différence est faible et c'est dans la période où le transit intestinal est le plus court que le taux d'hydratation des fèces est le plus faible. Il est vrai qu'il faudrait tenir compte des membranes contenues dans les fèces. Les glucides indigestibles n'y sont certainement pas à l'état sec et leur taux d'hydratation difficile à évaluer.

Si l'on s'adresse, comme critère de l'action laxative, au poids des fèces, il est bien évident que la présence dans les selles d'importants débris provenant des membranes du son se traduit par un accroissement considérable de la masse fécale fraîche et sèche. Rien ne permet de supposer que ce critère soit suffisant car il pourrait s'agir d'un encombrement sans relations avec le débit fécal. Nos sujets en expérience fournissaient effectivement, d'une période à l'autre de l'expérience, des poids de fèces très différents avec une durée de transit à peu près constante.

Quant à l'évaluation de l'effet laxatif d'après le rapport entre les poids de cellulose brute rejetée et ingérée, mode d'évaluation qui a la faveur de ces auteurs, il repose sur le fait que la proportion de cellulose brute dégradée dans le tube digestif est d'autant plus grande que la durée de transit est plus longue.

Comme nous l'avons vu dans la deuxième partie de ce travail consacré au sort des membranes dans le tube digestif, cette donnée est bien fondée sur l'expérience, mais puisque le taux de dégradation de la cellulose brute est en rapport avec la durée du transit intestinal, nous avons préféré mesurer cette durée d'autant plus que la notion de cellulose brute, très empirique, est peu représentative des modifications subies par les membranes dans l'intestin.

Si, comme WILLIAMS et OLMSTED (79) le prétendent, ce sont les fractions les plus labiles des membranes, particulièrement les hémicelluloses, qui par leur disparition ont le plus d'action sur la formation et les caractères des fèces, la détermination de la cellulose brute ne pourra fournir que de mauvais renseignements, cette substance ne renfermant presque pas d'hémicelluloses. Et comment comparer entre eux deux régimes dont l'un n'apporte que des quantités infimes de cellulose brute ?

Rappelons ici qu'ADOLPH et WU n'obtiennent une diminution du transit intestinal que pour des surcharges considérables en substances indigestibles. Dans ce cas seulement ils constatent un accroissement des quantités d'azote contenues dans les fèces. Dans nos expériences nous n'obtenons pas non plus, par ingestion de son ou de papier, d'effet laxatif marqué. Mais d'une période à une autre, nous avons des variations considérables dans le taux de l'azote excrété. L'effet laxatif ne saurait donc être tenu dans ce cas pour responsable de ces variations. Cependant, lorsqu'il y a, en plus, entre deux périodes expérimentales, une différence notable dans les vitesses de transit intestinal, il est possible que les variations dans l'excrétion d'azote fécal soient encore plus grandes.

Un fait reste acquis à la suite de nos expériences, c'est qu'à vitesse de transit sensiblement égale, on peut obtenir suivant les régimes alimentaires, des variations considérables de l'excrétion azotée fécale. Nous avons vu que l'accroissement de l'azote fécal consécutif à l'ingestion de son ne pouvait pas s'expliquer complètement par un surplus d'azote d'origine exogène. Aussi allons-nous rechercher, parmi les sources de l'azote fécal d'origine endogène, les causes de cet accroissement.

b) Influence de la desquamation intestinale dans l'accroissement de la perte d'azote par les fèces.

On est autorisé à penser que la présence dans le régime de débris provenant des membranes du son peut, par une action mécanique irritante, provoquer une desquamation des parois du tube digestif. Ce pourrait être là une cause de l'accroissement de l'azote fécal.

Sans pouvoir rejeter cette cause, il faut bien dire que nos résultats expérimentaux ne plaident pas en sa faveur.

Si nous comparons les périodes C et E de notre expérience (x), nous constatons qu'à une ingestion en E de 32 g. de l'ensemble cellulose, hémicelluloses et lignine correspond, en moyenne, pour les deux sujets, une excrétion azotée de 2,2 g., alors que l'ingestion en C de 27 g. des mêmes corps coïncide avec une excrétion de 2,48 g. Or le fait d'avoir traité le son employé en C par de l'eau, puis de l'avoir séché sous vide à une température inférieure à 70°, fournissant ainsi le son employé en E, n'a pas pu modifier notablement les propriétés irritantes des particules (voir tableau p.66).

Mais il y a plus. Si nous comparons les périodes B et D, toutes deux identiques à cela près qu'en B sont administrés 6 g. de papier filtre, le taux de l'élimination azotée est le même. A cela on pourrait objecter que le papier filtre ne présente pas le même pouvoir irritant que le son. Ici nous devons faire intervenir les impressions des sujets en expérience. Lorsque les fèces contenaient du papier filtre, ingéré sous la forme d'une fine pâte à papier, la défécation était très irritante. Il est certain que cette action irritative existait avant le niveau de l'anus et cependant l'excrétion azotée n'en a pas subi de modifications.

Si nous comparons maintenant cette période B qui présentait toutes les chances de provoquer la desquamation des parois digestives, à la période F où le régime ne contient qu'un poids infime de membranes, nous constatons que l'excrétion azotée est beaucoup plus forte dans le dernier cas. Elle s'établit à 2 g. par jour, alors qu'elle n'est que de 1,60 g. pendant la période au papier. En période F il est ingéré un extrait de son qui influe beaucoup sur l'excrétion azotée, alors que la cellulose irritante du papier n'a aucun effet. Par ailleurs ces deux régimes sont exactement semblables (voir 4^e partie tableaux XX et XXIV, p. 122 et 132).

c) Influence des sécrétions digestives sur la production d'azote fécal.

Nous avons vu que le surplus d'azote fécal qui correspond à l'ingestion du son ne peut être toujours expliqué par une accélération du transit intestinal. Sans prétendre que la vitesse du transit ne puisse avoir parfois une influence sur les quantités d'azote des fèces, peut-être en diminuant le temps nécessaire à la réabsorption des sucs digestifs, nos résultats montrent qu'à vitesse de transit semblable, il peut y avoir des variations considérables, selon les régimes, dans les quantités d'azote excrétées par les fèces.

(x) - Pour les détails techniques concernant cette expérience, se reporter à la 4^{ème} partie de ce travail.

Est-ce à dire que l'ingestion de son ne puisse influencer autrement sur le régime des sucs gastro-intestinaux ? Certainement pas. On peut très bien envisager que la présence de son dans le régime provoque un accroissement de la sécrétion des sucs digestifs. De plus on a émis l'hypothèse d'une adsorption des diastases par les particules indigestibles du son (76). Pour beaucoup d'auteurs, les pertes supplémentaires d'azote fécal seraient dues à une sécrétion accrue des glandes digestives. (46, 51,66).

Il n'est pas facile de savoir dans quelle mesure ces facteurs interviennent dans la production de l'azote fécal. Nos expériences in vitro et in vivo, semblent indiquer que l'adsorption ne joue pas et qu'en ce qui concerne l'influence du son sur la sécrétion des sucs digestifs, les principes constitutifs des membranes n'interviennent certainement pas. Qu'il nous suffise de rappeler à ce propos l'aggravation des pertes d'azote causées par l'ingestion d'un extrait de son et les modifications que nous constatons dans l'excrétion azotée après un simple traitement du son par l'eau. In vitro, nous n'avons pas trouvé non plus que les faibles quantités d'azote contenues dans les résidus de digestions artificielles pouvaient rendre compte de l'accroissement de l'azote fécal, même en supposant que cet azote résiduel provienne d'une adsorption des diastases par le son.

Nous sommes en droit de penser, à la suite de nos expériences, qu'en admettant même une action du son sur les sécrétions digestives, cette action ne doit pas être le fait des membranes végétales mais de substances qui les accompagnent, et c'est avant tout ce qui nous importe dans cette étude des relations entre les membranes végétales et le fonctionnement intestinal.

Notons que les travaux de TREMOLIERES et ERFMANN rattachent la forte excrétion azotée consécutive à l'ingestion du son au pouvoir adsorbant de ce produit vis-à-vis de l'amylase (76). Pour ces auteurs, l'adsorption des diastases digestives par le son entraîne une insuffisance dans la digestion des principes énergétiques du pain noir (taux d'extraction de 98 p. 100). Ces principes atteindraient le caecum sans être absorbés et constitueraient alors un excellent milieu de culture microbien. C'est finalement à ce développement microbien que TREMOLIERES et ERFMANN rapportent l'élévation des quantités d'azote excrétées par les fèces.

Par des expériences réalisées in vitro, ces auteurs démontrent bien que le son diminue la vitesse d'action de l'amylase, mais il ne paraît pas évident qu'il s'agisse d'une adsorption et non d'une inhibition. Les propriétés adsorbantes du son, si elles étaient rapportées aux constituants des membranes qu'il contient, n'expliqueraient pas l'activité de l'extrait de son sur l'excrétion azotée et les variations dans l'excrétion, provoquées par l'épuisement du son par l'eau.

C) L'azote bactérien intervient-il dans l'accroissement de l'azote fécal causé par l'ingestion de son ?

Il ne nous est pas possible de prouver directement que la forte teneur en azote des fèces recueillies en régime à base de pain de farine entière de blé est due à la présence d'un plus grand nombre de bactéries. La difficile numération des bactéries

qui s'imposerait dans ce cas n'apporterait peut-être pas de renseignements suffisants. Avec le régime alimentaire on peut certainement assister à une variation du nombre des bactéries, mais nous avons pu constater que les espèces et avec elles la taille, changeaient beaucoup d'une période à l'autre de l'expérience. On peut penser que la teneur en azote d'une bactérie est fonction de sa taille. Il ne peut être question, non plus, de dénombrer les bactéries en les cultivant, car STRASBURGER estime que les 99 centièmes des bactéries fécales sont mortes (72). Aussi cet auteur détermine-t-il la teneur des selles en bactéries par pesée. Mais sa technique, assez laborieuse, ne peut conduire qu'à une approximation.

Comme TREMOLIERES et ERFMANN (76) nous sommes d'avis que c'est à une prolifération accrue de bactéries que l'on doit rattacher principalement le surplus d'azote fécal produit par l'ingestion du son. Notons que ces auteurs ne font qu'émettre une hypothèse, mais que rien d'après leurs expériences, ne permet d'affirmer qu'il en soit ainsi.

Nous sommes également parti de la même hypothèse, fondée sur des considérations très différentes de celles formulées par ces auteurs et nous nous sommes efforcé de lui donner une base expérimentale.

Nos considérations ont déjà été exposées. L'essentiel tient en 3 points :

- les parties périphériques du grain de blé, et plus particulièrement le germe et la couche à aleurones ou assise protéique, sont très riches en vitamines et oligo-éléments minéraux ;

- ces substances agissent fortement sur la multiplication des bactéries;

- les bactéries intestinales, au moins certaines espèces, ont, du fait des conditions du milieu où elles vivent, perdu certaines facultés de synthèse et doivent trouver dans le son les facteurs nécessaires à leur développement.

Il est évident que dans les régimes semi-synthétiques que nous avons utilisés, ce sont les parties périphériques du grain de blé qui fournissent l'essentiel des facteurs vitaminiques et minéraux indispensables à l'homme comme aux bactéries.

Notre souci d'établir des régimes aussi semblables que possible aux membranes prèes, nous a conduit, dans les périodes autres que celles à base de pain complet, à incorporer à la ration des éléments vitaminiques B1, B2 et PP ainsi que des éléments minéraux tels que des sels de fer. Il est certain cependant que ces additions étaient bien incapables de réaliser la même diversité et de fournir une activité semblable à celle des oligo-éléments minéraux et vitaminiques des parties périphériques du grain de blé.

Demandons-nous d'abord si la teneur des bactéries en azote est suffisante pour qu'une variation notable de leur nombre puisse rendre compte des différences importantes que l'on peut noter dans les quantités d'azote fécal excrété dans diverses

conditions d'alimentation. Les renseignements que nous trouvons dans les travaux de RUBNER (64) nous permettent de fournir, à cette question, une réponse affirmative. Pour des poids de bactéries de 0,73 g. et 2,86 g. cet auteur trouve des quantités d'azote de 0,08 et 0,33 g. soit en moyenne un peu plus de 11 p. 100. Si l'on considère que les protides en général renferment de 15 à 18 p. 100 d'azote, on comprend très facilement que la teneur des bactéries en azote est considérable et que de ce fait leur présence en nombre variable peut entraîner des fluctuations de l'azote fécal.

Si nous admettons bien que les bactéries peuvent être en cause, il reste à démontrer qu'elles le sont effectivement. Un changement dans le régime alimentaire peut-il s'accompagner de modifications de la flore intestinale telles que l'azote fécal puisse varier notablement ? Reportons-nous au tableau suivant que nous extrayons du travail de RUBNER.

	Poids sec des fèces par jour	Azote fécal	Poids des bacté- ries des fèces	Azote des bactéries
	en g.	en g.	en g.	en g.
Régime à base de viande	17,1	1,12	0,73	0,08
Régime alimentaire mixte	30	2,9	2,86	0,33

Nous constatons qu'avec le régime, le poids de l'azote d'origine bactérienne a varié : il est, en régime mixte, quatre fois supérieur à ce qu'il était en régime à base de viande. Cependant, nous remarquons que l'azote des bactéries ne représente que la septième partie (0,25 g.) de l'accroissement de l'azote fécal que le changement de régime a provoqué (1,78 g.).

D'après les chiffres de RUBNER, le poids des bactéries ne représente qu'une faible partie du poids des fèces, le 1/24^e environ en alimentation carnée, le 1/10^e en alimentation mixte. Mais d'après d'autres données, la proportion du poids des bactéries peut être beaucoup plus forte. STRASBURGER considère qu'avec un régime alimentaire normal, le poids sec des micro-organismes éliminés chaque jour par les fèces correspond normalement au 1/4, parfois au 1/3 du poids sec des selles (72).

En employant une technique peut-être trop simple, dérivée de celle que STRASBURGER emploie pour déterminer par pesée la teneur des fèces en bactéries, GOLFFON affirme que le nombre des bactéries contenues dans les fèces est sensiblement proportionnel au volume fécal, lorsque les selles correspondent à l'ingestion de régime à base de pain blanc ou de pain complet (25).

Essayons d'appliquer à nos résultats expérimentaux les vues nouvelles de STRASBURGER sur le peuplement microbien des fèces, en nous servant, pour le calcul, des résultats de RUENNER concernant la teneur des bactéries en azote.

En consultant le tableau VII (voir p.66) nous voyons que dans les périodes à base de pain blanc, avec ou sans ingestion de papier filtre (périodes B et D), le poids sec des fèces est d'environ 30 g. En admettant que les microorganismes en forment le quart, nous aurons 7,5 g. de bactéries qui, au taux de 11 p. 100, renferment 0,82 g. d'azote, ce qui est considérable pour une excrétion azotée de 1,60 g. pour le premier sujet, de 1,50 g. pour le second. Si nous considérons que le poids des bactéries est proportionnel au volume fécal, il l'est aussi, approximativement dans nos expériences, au poids des fèces, le pourcentage d'eau qu'elles contiennent ne variant pas beaucoup d'une période à l'autre. Avec l'alimentation à base de pain complet (période C) le poids sec des fèces est de 54 g., en moyenne, pour les deux sujets. Si nous effectuons sur ce poids les mêmes calculs que précédemment, nous trouvons que la quantité d'azote bactérien est de 1,48 g. pour 2,48 g. d'azote total éliminé par les fèces. Ainsi le remplacement du pain blanc par le pain complet provoquerait un accroissement de 0,66 g. (1,48 - 0,82 g.) d'azote d'origine bactérienne. Cette quantité représente environ les 2/3 de l'accroissement de l'azote fécal consécutif à l'ingestion de son.

Sans pouvoir nous prononcer absolument, notons que toutes les autres sources d'accroissement de l'azote fécal d'origine exogène ou endogène n'ont pu, dans les conditions expérimentales où nous avons opéré, rendre compte des phénomènes constatés. Par contre, l'influence du son sur la multiplication des bactéries de l'intestin fournit des explications satisfaisantes. De plus, deux constatations importantes nous permettent de penser que ce sont les variations de l'azote bactérien qui entraînent des modifications dans les quantités d'azote fécal excrété.

BINET et ses collaborateurs (10) ont montré que les caractères de la flore bactérienne des fèces du lapin changent radicalement quand on substitue dans le régime le pain complet au pain blanc. De notre côté, sur l'homme, nous avons étudié la flore bactérienne dans les différents temps de notre expérience. Le plus tôt possible après la récolte des fèces, toujours dans un intervalle de moins de trois heures, nous avons effectué des frottis de matières fécales, prélevant d'abord dans les parties les plus liquides, puis dans les selles homogénéisées. Ces opérations ont été effectuées à plusieurs reprises pendant chaque période.

Les frottis ont été colorés par la méthode de GRAM, selon le mode opératoire décrit dans le manuel de FIESSINGER (19), ce qui fournit une vue d'ensemble de la flore bactérienne, et par la solution iodo-iodurée afin de rechercher la flore iodophile selon la technique du livre de HEUPKE (34).

La recherche de la flore iodophile s'imposait dans notre travail car sa présence traduit l'existence d'hydrates de carbone divers dans toutes les dernières portions de l'intestin. L'iodophilie de certains microbes proviendrait des corpuscules qu'ils contiennent. Ces corpuscules sont formés de granules et n'apparaissent que lorsque

de l'amidon et de la cellulose - peut-être aussi des hémicelluloses - sont présentes dans l'intestin (26).

Le tableau X résume l'essentiel de nos observations.

L'examen du tableau suivant permet de constater que la coloration de GRAM ne nous fournit pas de renseignements utilisables. Tout au plus, nous avons pu remarquer constamment il est vrai, une densité de population microbienne plus forte dans les périodes à base de pain complet ou d'un pain complet dont le son a été épuisé à l'eau. Cependant cette densité est fonction de l'épaisseur des frottis. Aussi ne pouvons-nous pas tabler sur ces impressions. Seule la numération bactérienne aurait peut-être permis de préciser ce point important.

Si la coloration de GRAM ne nous fournit que peu de données nouvelles, l'étude de la flore iodophile par contre, s'est avéré fructueuse. Dans les trois périodes expérimentales à base de pain complet, de pain complet dont le son a été épuisé à l'eau, de pain blanc renfermant un extrait de son, la flore bactérienne iodophile s'est révélée très abondante. A l'opposé, toutes les autres périodes à alimentation naturelle ou artificielle à base de pain blanc fournissent des fèces à peu près exemptes de flore iodophile (voir tableau X).

Tableau X

PERIODES	COLORATION DE GRAM	FLORE IODOPHILE
A - Alimentation naturelle	Nombreuses bactéries Gram + parfois flore mixte Gram + et -	Quelques Clostridies très rares Leptothrix
B - Pain blanc	Nombreuses bactéries à prédominance Gram +	Absence à peu près complète de flore iodophile
C - Pain complet	Très nombreuses flore Gram + et - Dans un cas très forte prédominance Gram -	Abondante flore iodophile; nombreux Leptothrix et Clostridies; présence de quelques grains d'amidon.
D - Pain blanc + 6 g. de papier filtre	Nombreuses bactéries Gram +	Absence à peu près complète de flore iodophile
E - Pain noir dont le son a été épuisé	Très nombreuses bactéries Gram + et -	Présence d'une flore iodophile assez abondante constituée surtout par des Clostridies
F - Pain blanc additionné d'extrait de son	Nombreuses bactéries Gram + et -	Présence de flore iodophile constituée par des Leptothrix et des Clostridies

La fermentation des glucides est donc intense dans tous les cas où du son et certains produits qui en dérivent sont ingérés, beaucoup plus qu'en période à base de pain blanc.

Notons que les bactéries qui constituent la flore iodophile ont une taille beaucoup plus grande que les autres bactéries des fèces, et ce fait seul peut vraisemblablement influencer sur la quantité d'azote qu'elles contiennent et de là sur l'excrétion azotée.

Cette flore iodophile existe normalement dans le caecum, mais selon GOIFFON (26) elle perd en général la faculté de fixer l'iode avant d'être évacuée. Aussi, pour cet auteur, leur existence dans les selles traduit-elle une évacuation prématurée. Nous avons vu pourtant que dans notre expérience, la vitesse du transit et le taux d'hydratation des fèces étaient sensiblement les mêmes dans les différents temps de notre expérience, ce qui s'oppose à l'affirmation d'une évacuation prématurée des fèces lors de l'ingestion de son. Cependant, nous devons indiquer que les fèces du sujet n° 2 contenaient une flore iodophile moins abondante que celle du premier sujet. Or nous avons vu (voir p.77) que précisément ce deuxième sujet était celui qui possédait la durée de transit la plus longue.

Ce que nous pouvons dire à la suite des expériences de BINET et ses collaborateurs sur le lapin et nos expériences personnelles sur l'homme, c'est que l'accroissement du taux d'extraction des farines ingérées se traduit par l'apparition, dans les fèces, d'une flore iodophile. Remarquons que récemment, BAKER et PALMER (6) ont suggéré que certaines bactéries iodophiles de l'intestin seraient capables de désintégrer la cellulose.

Il est très intéressant de noter que nous avons observé la présence de flore iodophile dans les fèces recueillies pendant la période F où un extrait de son était consommé, indépendamment des membranes de ce son. Ces dernières ne sont donc pas en cause. Et dans cette période l'excrétion azotée fécale est importante.

Toutes ces remarques ne fournissent que des indices sur le rôle joué par les bactéries intestinales dans l'excrétion de l'azote fécal. Dans l'impossibilité de dénombrer les microbes contenus dans les fèces, nous nous sommes demandé s'il n'était pas possible de les atteindre en déterminant certains produits de leur métabolisme.

On peut objecter que les produits finaux du métabolisme bactérien sont variés et qu'une différence dans les quantités formées de l'un de ces produits traduit bien plus la prédominance d'une espèce qu'un accroissement du nombre total des bactéries.

En fait, le problème des bactéries intestinales est extraordinairement complexe. Il revêt des aspects multiples. Particulièrement chez l'homme, il soulève de nombreuses questions dont l'étude est très malaisée. Cependant, chez l'animal où l'on a la ressource de pouvoir étudier plus facilement l'évolution de la flore intestinale au cours de la traversée de l'intestin, on a pu faire certaines constatations importantes.

Les travaux de HOPFFE (37) ont montré chez un même animal que les espèces bactériennes ne sont plus les mêmes, d'un niveau à l'autre de l'intestin. Ceci implique nécessairement que des espèces disparaissent. On doit penser qu'elles sont digérées, ce qui pose la question de la valeur alimentaire de l'azote bactérien, de l'importance de la transformation de l'azote des ingesta en azote bactérien dont la valeur biologique peut être très différente.

En faveur de cette digestion des bactéries, dans l'intestin, il faut noter que HOPFFE, chez le cheval et le porc trouve une diminution considérable du nombre de bactéries, au niveau du rectum (37). D'autre part, SCHREUER a montré que les fèces de l'homme renferment des ferments protéolytiques et autres (70). Mais selon HEUPKE, ces ferments ont une activité très diminuée (34). D'un autre côté, et en opposition avec MULLER (57) qui réussit à nourrir un chien avec des bactéries comme source d'azote, SCHIEBLICH pense que "la masse bactérienne se trouvant dans le tube digestif offre, à la digestion, une résistance importante" (69).

On doit cependant admettre, à la suite de ces travaux, que la flore bactérienne des fèces n'est qu'un très pâle reflet du nombre et de la variété des bactéries qui se sont développées au cours du transit digestif. Aussi la recherche des produits de leur métabolisme est-il un indice aussi sûr que leur identification dans les fèces.

La flore bactérienne de l'intestin dépend étroitement du régime alimentaire administré. Chez le chien, HOROWITZ montre que l'ingestion de lait favorise le développement de ferment lactique tandis que l'albumine du blanc d'oeuf est favorable à la croissance des bactéries de la putréfaction (38).

Or, tous les régimes alimentaires utilisés dans les différents temps de cette expérience étaient équivalents en ce qui concerne leur teneur en principes énergétiques. De plus, la qualité, l'origine de ces principes étaient sensiblement les mêmes. Les glucides formaient l'élément prépondérant de l'alimentation. On pouvait penser que c'étaient les produits de fermentation de ces glucides qui fourniraient les renseignements les plus significatifs au sujet du degré de développement de la flore bactérienne.

Nous avons vu que parmi les produits finaux de la fermentation des glucides se trouvent des acides gras volatils (voir p.19). Le dosage de ces acides dans les fèces ne fournit certainement pas une idée exacte de l'importance de la flore bactérienne, mais on peut penser, - bien que d'autres facteurs interfèrent tels que l'absorption intestinale et l'utilisation par les bactéries -, que, dans nos conditions d'expérience, l'accroissement des quantités d'acides gras volatils est en relation avec le développement des microbes.

Le dosage des acides gras volatils a été effectué selon la méthode de OLMSTED et ses collaborateurs (58, 59). Cette méthode consiste essentiellement dans un entraînement par la vapeur d'eau des acides volatils contenus dans un poids connu de fèces préalablement déféquées par une solution de bichlorure de mercure. La seule modification que nous ayons apportée à la technique des auteurs est l'emploi d'alizarine sulfonate de sodium au lieu de phénol-phtaléine comme indicateur, au moment du dosage final de la solution d'acides volatils par une solution de soude N/10.

Dans chaque temps de l'expérience, nous avons fait au moins deux déterminations l'une au début et l'autre à la fin. Les déterminations ont été effectuées sur les matières fécales fraîches, peu de temps après leur récolte. Les résultats que nous avons obtenus sont consignés dans le tableau XI.

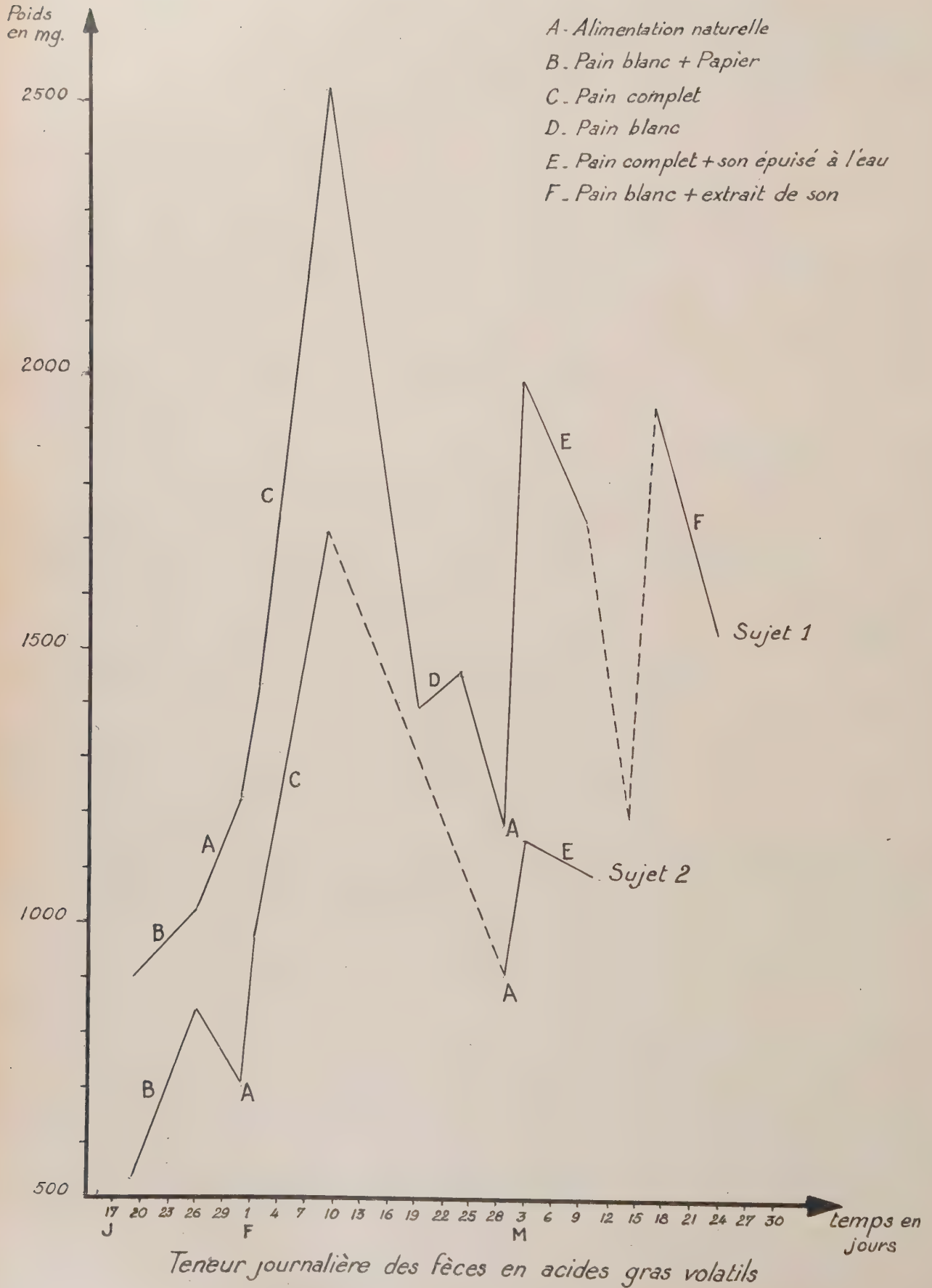
Tableau XI

Périodes	Quantités d'acides gras volatils contenus dans 100 g. de fèces, exprimés en cm ³ de soude N/10		Poids des acides gras volatils contenus dans les fèces de la journée exprimés en mg. d'acide acétique	
	Sujet I	Sujet II	Sujet I	Sujet II
B - régime à base de pain blanc + 6 g. de papier filtre	92 104	79 86	890 1.012	520 822
A - alimentation naturelle	82	69	1.220	690
C - régime à base de pain complet	73 170	92 147	1.420 2.490	960 1.692
D - régime à base de pain blanc	124 110		1.380 1.440	
A - alimentation naturelle	103	87	1.160	890
E - régime à base de pain complet dont le son a été épuisé par l'eau	100 112	93 96	1.960 1.720	1.132 1.080
F - régime à base de pain blanc (+ extrait de son)	176 138		1.920 1.512	

Ces résultats ont servi à établir le graphique 3 .

L'examen des chiffres et des courbes traduisant la teneur des fèces en acides gras volatils révèle :

GRAPHIQUE 3



- Qu'il y a une très bonne concordance entre l'allure de l'excrétion azotée fécale dans les différentes périodes et celle des acides gras volatils, pris au maximum d'excrétion (comparer le graphique 3 aux graphiques 1 et 2, p.71).

- Dans certaines périodes, celle à base de pain complet en particulier, on assiste à des variations dans la teneur des matières fécales en acides gras volatils, teneur qui est beaucoup plus forte après 8 jours de régime qu'au début. Si l'on regarde la variation simultanée de l'excrétion azotée on assiste à des variations dans le même sens mais de moindre amplitude. Si nous rapportons l'excrétion quotidienne des acides gras volatils et de l'azote à 100 g. de matières fraîches afin d'éliminer les petites différences constatées dans le poids journalier des fèces, nous obtenons

Période C à base de pain complet	Azote en g.		Acides gras volatils (exprimés en cm ³ de soude N/10)	
	Sujet I	Sujet II	Sujet I	Sujet II
au début	0,87	1,2	72	92
au milieu	0,85	1,2		
à la fin	0,97	1,35	170	147

Par contre, dans d'autres périodes où l'excrétion azotée est pratiquement constante, nous n'enregistrons que de faibles écarts dans la teneur en acides gras volatils des fèces.

En fait, le nombre insuffisant de nos dosages d'acides gras volatils ne nous permet pas de conclure absolument. Cependant nous constatons que l'excrétion des acides gras volatils et l'excrétion azotée varient dans le même sens.

Etant donnée l'origine des acides gras volatils contenus dans les fèces, cette constatation est en faveur de la part importante que les bactéries doivent prendre dans l'accroissement de l'azote fécal consécutif à l'ingestion de son ou de produits qui en dérivent. Pourtant il est difficile d'expliquer, au cours d'une même période, que l'on puisse avoir de grandes variations dans la teneur en acides gras volatils des fèces, avec un taux d'excrétion azotée sensiblement constant.

Au total nous n'avons, au sujet de la responsabilité de l'azote bactérien dans l'accroissement de l'azote fécal que des indices. Ces indices sont : la présence d'une flore de fermentation abondante, mais non dénombrée, la production de quantités plus grandes d'acides gras volatils, ce qui traduit une augmentation de l'activité microbienne.

Mais sur quoi pouvons-nous fonder que les facteurs de croissance contenus dans le son de blé sont à l'origine d'un développement microbien ?

Il a été bien démontré que, contrairement à ce que l'on a longtemps cru, la

flore bactérienne intestinale existe bien avant le niveau du gros intestin (77). A un tel niveau, quelque soit le régime, il existe un milieu intestinal assez riche en éléments énergétiques pour que le développement microbien se fasse bien. Pourquoi, dans le cas de régime à base de pain blanc, ce développement ne se fait-il pas, alors que l'adjonction d'un extrait de son le favorise comme les caractères de la flore iodophile et la production d'acides volatils l'indiquent nettement ? Ce n'est certainement pas une question de glucides indigestibles en provenance de membranes qui intervient, glucides qui ne seraient fermentés que tardivement, car sous ce rapport les deux régimes l'un à base de pain blanc, l'autre comprenant en plus un extrait de son, sont identiques.

La comparaison des résultats analytiques obtenus en période C à base de pain complet et E à base de ce même pain dont le son a été épuisé à l'eau est tout aussi suggestive. L'épuisement par l'eau qui laisse les membranes pratiquement intactes a une répercussion nette sur les caractères de la flore bactérienne et sur la production d'acides gras volatils. Pourtant, dans chaque cas, le milieu glucidique intestinal offert aux microbes est identique. Le fait que le son épuisé soit encore capable d'influencer l'excrétion azotée semble défavorable au rôle joué par les facteurs de croissance dans le développement de la flore intestinale. La lecture du tableau XII où figurent les résultats du dosage de certains des constituants du son, du son épuisé et de l'extrait, nous permet de répondre à cette objection. Les chiffres se rapportent à 100 g. de produit. Rappelons que sous le nom de son, nous désignons l'ensemble des remoulages, fins sons et gros sons qui constituent les 20,2 centièmes que la mouture sépare de la farine extraite au taux de 79,8.

Tableau XII

	Son en g.	Son épuisé en g.	Extrait aqueux de son en g.
Eau	10,5	5,2	35
Azote	2,82	2,68	3,18
Cendres	6,2	3,8	11,9
Phosphore	1,17	0,85	2,15
Calcium	0,13	0,14	0,17
Fer	11,2 mg.	10,8 mg.	10 mg.
Vitamine B1	710 µg.	505 µg.	954 µg.

L'examen des chiffres du tableau XII nous permet de nous rendre compte de l'effet de l'épuisement du son par l'eau. L'extrait nous apparaît comme un concentré vitaminique et minéral. Mais le son épuisé renferme encore des quantités très notables

de bio-oligo-éléments comme l'indique sa forte teneur en vitamine B₁ pourtant soluble dans l'eau. Aussi n'est-il pas étonnant que ce produit soit actif sur la production d'azote fécal, alors que le papier filtre ne l'est pas.

De cette longue étude sur les origines de l'excès d'azote excrété par les fèces lors de l'ingestion de son de blé, nous devons retenir, conformément à nos résultats d'expérience :

- Que ce surplus provient, pour une faible part, de l'azote non digéré du son, azote ayant échappé à l'hydrolyse diastasique, soit à cause de l'effet protecteur des membranes, soit du fait de l'engagement de certaines substances azotées dans les membranes.

L'accroissement de l'excrétion azotée est dû, surtout, à une autre cause. Elle s'explique peut-être par une modification du taux de sécrétion ou de réabsorption des sucs digestifs. Nous pensons qu'il s'agit plutôt d'une modification de la flore bactérienne, en relation avec l'abondance des facteurs de croissance microbiens apportés par le son.

Ce court résumé indique que les membranes du blé n'interviennent directement que dans une faible mesure. Cependant on doit penser que par voie indirecte elles influent sur le développement microbien, donc sur l'excrétion azotée, en fournissant aux bactéries un substrat énergétique abondant. Elles sont donc un des facteurs favorisant cette excrétion.

Si nous reprenons l'ensemble des résultats quantitatifs obtenus dans l'étude des relations entre les constituants des membranes du blé et la nutrition humaine, nous constatons :

- la disparition d'une proportion importante de ces constituants au cours du transit digestif;
- un accroissement pondéral de certains composants des fèces tels qu'acides gras volatils et matières azotées.

Avant de conclure du rôle exact des membranes du blé - encombrant, ou défavorable - dans l'utilisation de la ration, nous devons étudier leur influence sur les pertes énergétiques d'origine fécale.

11 - INFLUENCE DES MEMBRANES DES LEGUMES ET DES FRUITS

SUR LES COEFFICIENTS D'UTILISATION DIGESTIVE DE L'AZOTE.

RUBNER a consacré à ce problème plusieurs travaux dont nous avons fait état au moment de l'étude des coefficients de digestibilité de la cellulose.

Comme dans le cas du blé, la présence dans la ration de légumes et de fruits s'accompagne d'un accroissement des pertes azotées fécales. Rappelons que l'auteur établit pour ses expériences un régime où l'aliment étudié participe le plus possible. Dans de telles conditions, le coefficient d'utilisation digestive de l'azote des légumes et des fruits est toujours faible. Dans un cas, celui de la pomme, le sujet rejette 1,3 fois plus d'azote que l'aliment ingéré n'en contient (66).

RUBNER attribue l'accroissement des quantités d'azote fécal à une production plus intense des sucs digestifs.

Postérieurement aux travaux de RUBNER, ADOLPH et WU (2) montrent l'inefficacité des membranes du chou, ingérées seules, sur l'excrétion d'azote fécal. Les tissus de ces choux étaient vidés de leur contenu cellulaire par de puissants moyens mécaniques. Par contre RUBNER constate que ce même légume agit fortement sur cette excrétion. Il est logique de conclure de ces expériences, en accord avec ce que nous avons vu pour le blé, que ce ne sont pas les membranes qui sont responsables directement de l'accroissement d'azote, mais le contenu cellulaire.

Dans nos expériences, l'ingestion d'un régime équilibré, constitué en partie de légumes conduit à une excrétion de 1,81 g. d'azote fécal, en moyenne pour deux sujets. Cette excrétion est nettement supérieure à celle obtenue -1,60 g.- avec un régime équivalent en qualité ou en quantité, mais ne contenant pas de résidus indigestibles ou seulement du papier filtre.

En consultant le tableau VII p.66 (voir période A), on remarque que le taux de l'azote fécal subit, pendant les périodes à alimentation naturelle -seules périodes où des légumes soient ingérés -, des fluctuations plus grandes qu'au cours des autres périodes de l'expérience. Nous pouvons affirmer d'après les caractères du régime et des fèces, que ces variations sont dues à la qualité des légumes ingérés. Ces derniers, en ce qui concerne pommes de terre et carottes étaient puisés dans des stocks homogènes. Mais la ration apportait aussi des quantités importantes de salade dont il n'était pas possible de faire des réserves utilisables pendant une expérience d'une durée de deux mois et demi. De plus l'expérience a eu lieu en hiver. De ce fait la salade ingérée a présenté de grandes variations dans sa composition et surtout dans son degré de digestibilité. Parfois même, l'impossibilité de se procurer cet aliment nous a contraint à le remplacer par un poids égal de chou. Il s'en suivait des différences très nettes dans les caractères des fèces, appréciables au seul examen visuel. C'est très exactement dans les périodes où la salade, ou son aliment de remplacement était le moins bien digéré, que l'excrétion azotée était la plus haute. Ces quelques remarques illustrent bien l'importance que nous avons attachée à l'établissement de régimes indépendants de ces contingences.

Chapitre III.

INFLUENCE DES MEMBRANES VEGETALES SUR L'UTILISATION ENERGETIQUE DE LA RATION.

Dans le chapitre précédent, nous avons tout spécialement examiné la question de l'azote fécal dans ses rapports avec l'ingestion de membranes végétales. La présente étude consacrée à l'influence des constituants des membranes sur les pertes énergétiques d'origine fécale démontrera bien que les deux problèmes de la perte azotée et de la perte énergétique doivent être séparés.

I - INFLUENCE DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES DU GRAIN DE BLE.

1°) Comparaison des pertes énergétiques fécales

causées par l'ingestion de farines à différents taux d'extraction.

La littérature scientifique fournit des renseignements abondants au sujet du rôle défavorable du son. L'opinion toujours classique est que l'introduction par le son de cellulose dans l'alimentation s'accompagne de l'élimination, par les fèces, de quantités importantes de principes énergétiques normalement utilisables (28). Cette élimination entraînerait une perte notable dans l'utilisation de la valeur énergétique de la ration.

Une telle conception repose sur une erreur analytique.

La question de l'influence du son sur les pertes d'origine fécale a suscité de nombreuses recherches dont certaines ont été rapportées dans le chapitre précédent. Nous ne citerons qu'un travail que nous avons réalisé il y a plusieurs années en collaboration avec L. RANDOIN et A. DIGAUD (61), travail auquel nous avons fait allusion à plusieurs reprises. Nous pouvons le prendre comme type et nous allons voir comment on arrive à des conclusions erronées.

Il s'agissait de déterminer la valeur nutritive comparée du pain complet et du pain blanc. Dans un régime de base naturel, abondamment pourvu en légumes divers, le remplacement de 400 g. de pain blanc (farine extraite à 75 p. 100) par le même poids de pain complet élevait le poids sec des matières fécales de 31,1 g. à 53 g. Ces chiffres représentent la moyenne des poids des fèces de 4 sujets. L'ingestion de son de blé provoquait donc un accroissement de 22 g. environ du poids des fèces. Le dosage par la méthode de WEENDE de la cellulose brute contenue dans les matières fécales ne faisait apparaître qu'une élévation de 4 g. de cellulose excrétée dans la période au pain complet par rapport à celle au pain blanc. Il semble alors que nous étions en droit de dire que sur les 22 g. de matières fécales sèches produites en excès, 18 g. étaient des substances normalement assimilables. Ainsi, du point de vue énergétique, le remplacement du pain blanc par le pain complet se traduisait par une perte considérable de calories utilisables.

L'étude consacrée, dans la première partie de ce travail, à la valeur des méthodes de dosage des constituants spécifiques des membranes nous fournit les moyens de juger les nombreuses expériences du genre de celle que nous venons de rapporter.

La méthode de WEENDE est incapable de fournir le poids de résidus indigestibles contenus dans les fèces. Le chiffre de 18 g. rend compte d'une perte calorifique évidente, mais qui, du fait de l'impropriété de cette méthode, ne s'applique peut-être pas à des calories utilisables. Nous avons vu que le son de blé contient beaucoup plus d'hémicelluloses que de cellulose. Or la méthode de WEENDE n'évalue pratiquement pas les hémicelluloses. Nous avons admis que, pour le son, le poids de cellulose brute ne représentait que le quart environ du poids réel des membranes qu'il contient. Si, très grossièrement, nous appliquons le coefficient de 4 aux 4 g. de cellulose brute se trouvant en supplément dans les fèces en période au pain complet, nous obtenons 16 g. de membranes qui ne peuvent être considérées comme une source d'énergie utilisable. La différence entre les 22 g. représentant l'accroissement du poids sec des fèces consécutif à l'ingestion de son et les 16 g. évalués précédemment, soit 6 g., peut ainsi représenter approximativement le pouvoir défavorable du son envers les principes normalement utilisables de la ration. Ces 6 g. représentent environ 24 calories soit moins du centième de la valeur énergétique du régime de base. Et nous ne tenons aucun compte dans ces calculs du bénéfice énergétique que l'organisme peut retirer de l'éventuelle utilisation des constituants des membranes, ni des quantités supérieures de matières minérales contenues dans les fèces correspondant à l'ingestion de pain complet.

Nous avons pensé que l'application de la méthode de WILLIAMS et OLMSTED à l'étude de l'influence des membranes végétales sur les pertes énergétiques d'origine fécale permettrait d'apporter quelques clartés à cette question.

Les quantités de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine rejetées par chacun des sujets en expérience (x) figurent dans le tableau VI, p. 52; et les poids des fèces sont consignés dans le tableau VII, p. 66. Ces données, jointes aux résultats

(x) - Pour les détails techniques concernant cette expérience, se reporter à la 4ème partie de ce travail.

du dosage des cendres totales, nous permettent d'établir le tableau XIII qui fournit la composition journalière moyenne des matières fécales en périodes D à base de pain blanc et C à base de pain complet.

Tableau XIII

Analyse des fèces	Période C		Période D		Différence entre les 2 périodes	
	Sujet I	(x) Sujet II	Sujet I	Sujet II	Sujet I	Sujet II
		en g.				
Poids sec	54,8	54,5	28	25	26,8	29,5
1) Cellulose + hémicelluloses + lignine	16,7	16,6	1,9	1,2	14,8	15,4
2) Cendres	6,2	5,1	3,5	2,8	2,7	2,3
Poids sec - (1 + 2)	31,9	32,8	22,6	21,0	9,3	11,8

L'examen des chiffres de ce tableau nous montre que si nous retranchons du poids sec des fèces, les constituants spécifiques des membranes et des matières minérales qui ne peuvent être considérés comme substances énergétiques normalement utilisables, nous obtenons un poids moyen de 10 g. environ de matière énergétique qui peuvent rendre compte du rôle défavorable du son sur l'absorption intestinale.

Au total, l'ingestion de son s'accompagne, au point de vue énergétique, des phénomènes suivants :

- les 500 g. de pain complet introduisent 27 g. environ d'un ensemble de cellulose, hémicelluloses et lignine dont on retrouve 17 g. dans les fèces, soit une disparition d'environ 10 g. de substances dont l'organisme retire un profit énergétique que nous ne pouvons d'ailleurs pas estimer exactement mais qui, comme nous le verrons, est certainement très important;

(x) - Pour le deuxième sujet, les résultats sont ceux obtenus en période B diminués, en ce qui concerne le poids sec et la cellulose, de la quantité de papier filtre ingéré.

- l'ingestion de ce pain complet cause l'élimination par les fèces de 10 g. de substances que l'on peut compter comme normalement absorbables par l'intestin et normalement utilisables. Ces 10 g. de substances sont constitués, en partie, nous l'avons vu, de matières azotées et d'acides gras volatils.

Au total, le bilan énergétique de l'opération nous permet de penser que le son n'a pas le grand rôle défavorable qu'on lui attribue. A comparer la farine de blé entier à la farine blanche, tout se passe approximativement, au point de vue énergétique, comme si l'organisme ne pouvait tirer aucun parti des constituants des membranes mais que tous les autres constituants de l'une ou l'autre farine étaient utilisés de façon identique. Nous allons voir que d'autres travaux très importants permettent de conclure dans le même sens. Il reste, cependant, que les coefficients d'utilisation digestive de l'azote sont abaissés, mais comme nous l'avons vu presque indépendamment de l'indigestible glucidique. Si les constituants spécifiques des membranes interviennent dans l'excrétion azotée fécale, c'est plutôt à cause de l'utilisation de ces constituants que de leur indigestibilité.

Quelle est la composition des 10 g. de principes utilisables que nous avons trouvés dans les fèces correspondant à l'ingestion de pain complet ? Il est certain que les substances azotées en constituent une part importante. Nous avons vu que l'ingestion de son accroît, dans nos conditions d'expérience, la perte azotée, en moyenne de 0,9 g. Si nous lui supposons une origine protidique, cet azote correspond à 5,8 g. de protides. Sans doute, nous manquons de données au sujet des formes de l'azote dans les fèces, mais nous pensons qu'il est en grande partie engagé dans des protides. Toutes les hypothèses concernant les origines de l'excès d'azote fécal causé par l'ingestion de son : la mauvaise digestibilité des protides du son, le développement des bactéries, l'accroissement des sécrétions intestinales ou leur réabsorption insuffisante sont en faveur de l'excrétion de l'azote sous forme protidique.

Nous avons voulu savoir si les fèces recueillies en période alimentaire à base de pain complet contenaient davantage de glucides assimilables que celles correspondant à l'ingestion de pain blanc. La différence entre les glucides totaux fermentescibles ou non, après une hydrolyse acide très profonde (acide sulfurique à 2I,4 N) et la somme des hémicelluloses et de la cellulose déterminées selon la technique de WILLIAMS et OLMSTED, nous conduit à des résultats assez peu significatifs. Dans aucun cas nous n'avons trouvé de quantités importantes d'hexoses fermentescibles, ou de substances fournissant des hexoses par une hydrolyse acide légère. Toutefois ces quantités étaient plus fortes dans le cas d'ingestion de pain complet. Pour la phase au pain blanc nous n'avons parfois trouvé aucune trace d'hexoses ou de précurseurs d'hexoses digestibles et assimilables. Dans les périodes à base de pain complet, l'hydrolysât acide des fèces par l'acide sulfurique 2I,4 N possède un pouvoir réducteur supérieur à celui qui correspond à leur teneur en cellulose et en hémicelluloses. Cette différence de pouvoir réducteur est due à la présence de pentoses. Cependant nous ne faisons état que des faits les plus nets concernant la composition glucidique des fèces, les dosages de glucides effectués sur le filtrat obtenu dans les premiers temps de la méthode de WILLIAMS et OLMSTED, après digestion pancréatique, ne nous ayant pas fourni de résultats assez constants. Ce filtrat évaporé à sec au bain marie bouillant donne un résidu qui était hydrolysé par l'acide sulfurique

21,4 N, à froid, l'hydrolyse étant poursuivie et le dosage effectué selon la méthode de ces auteurs. En principe nous devions obtenir ainsi des quantités d'hexoses et de pentoses équivalant aux différences existant entre les poids d'hexoses et de pentoses totaux des fèces et les poids de ces mêmes sucres calculés d'après les quantités de cellulose et d'hémicelluloses excrétées. En fait, la concordance entre ces deux valeurs n'est pas satisfaisante. Néanmoins ces recherches complétées par les résultats d'une hydrolyse acide légère d'une partie du filtrat nous ont permis de constater que ce sont surtout des pentosanes qui se trouvent dans les fèces en solution ou dans un état tel que les toiles employées dans la technique de dosage ne les retiennent pas (x).

Il semble que des hémicelluloses soient solubilisées au cours de la digestion, solubilisation qui, comme nous l'avons vu, in vitro, doit être déjà fortement amorcée dans l'estomac. ROCHE avait déjà prouvé que le sort des pentoses dans le tube digestif où ils sont absorbés, est très différent de celui des pentosanes qui demeurent intacts comme le prouvent les dosages de pentoses dans le sang (63).

2°) Détermination de la valeur énergétique

physiologiquement utilisable des farines suivant le taux d'extraction.

A - En alimentation exclusive.

Si l'on se reporte aux données les plus importantes concernant l'énergie utilisable des farines à différents taux d'extraction, le rôle néfaste du son sur l'absorption intestinale n'apparaît que faiblement. A ce sujet, nous ferons état de trois séries d'importants travaux.

a) Déterminations d'ATWATER.

Les expériences d'ATWATER (5) ont établi les valeurs énergétiques physiologiquement utilisables de farines extraites à 70 - 74 p. 100 et de farines extraites à 97-100 p. 100. Pour les premières farines la valeur énergétique est de 350 calories pour 100 g., elle est de 322 calories pour la farine de blé entier. Ces valeurs correspondent à des farines qui contiennent 15 p. 100 d'eau. La différence énergétique est donc de 28 calories, soit une baisse de 8 p. 100 environ quand on passe de la farine blanche à la farine complète.

Les déterminations d'ATWATER impliquent la connaissance de la composition de l'aliment, des coefficients de digestibilité de ses principes énergétiques, de la chaleur de combustion in vitro de ces principes, corrigée dans le cas des protides, du fait de leur combustion incomplète dans l'organisme.

(x) - Nous avons employé des soies à bluter n° 240 des établissements Tripette et Renaud.

La différence de 8 p. 100, ainsi déterminée, est une valeur importante. Nous avons vu en effet que c'est approximativement un poids de 8 g. de membranes que RUBNER trouve dans 100 g. de blé sec (voir 2ème partie, p.33). De plus, nous avons à plusieurs reprises déterminé, par la méthode de WILLIAMS et OLMSTED, la teneur de la farine de blé entier ou de pain correspondant, en cellulose, hémicelluloses et lignine. Pour le pain complet qui a servi dans la période C de l'expérience (voir 4ème partie p. 127) nous avons trouvé un total de près de 7 g. de ces trois substances rapportés à un produit contenant 15 p. 100 d'eau. Ces 7 g. correspondent bien à 28 calories environ. Au total le remplacement de la farine blanche par de la farine entière conduit à une perte énergétique correspondant à la valeur calorifique des constituants spécifiques des membranes contenues dans cette dernière farine. Bien qu'ATWATER, dans sa méthode de travail, n'ait pas à s'occuper du dosage direct des glucides dans l'aliment et, parmi ces glucides, de ceux appartenant à la membrane, il est très intéressant de constater la concordance entre la perte d'énergie introduite par l'usage de la farine de blé entier, et la valeur énergétique de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine qu'elle contient.

Si nous recherchons de plus près, d'après le travail d'ATWATER, quels sont les principes énergétiques qui, du fait de leur moins bonne utilisation, sont responsables de cette perte énergétique, nous constatons les faits suivants :

- le coefficient de digestibilité des protides est abaissé de 89 à 79 quand on passe d'un taux d'extraction de 70-74 à un taux de 97-100 p. 100. De là, les facteurs applicables à chaque gramme de protides ingéré, afin d'en connaître la valeur énergétique, passent de 4,05 à 3,59, soit une chute de 11 p. 100;

- la valeur énergétique utilisable correspondant à chaque gramme de lipide ingéré est la même pour toutes les farines, ce qui est en faveur des hautes extractions, ces farines contenant davantage de lipides;

- le coefficient de digestibilité des glucides - calculé par différence entre le poids total des matières organiques et la somme des poids de protides et de lipides - s'abaisse de 0,98 à 0,90. Les facteurs de conversion des glucides ingérés en calories passent alors de 4,12 à 3,78, soit une diminution de 8 p. 100.

Au total, la farine étant essentiellement glucidique, c'est par une perte énergétique de 8 p. 100 environ que se traduit l'ingestion de farine entière en remplacement de farine blanche.

Néanmoins, les résultats d'ATWATER ne permettent nullement de conclure que la farine de blé entier n'a pas, par rapport à la farine blanche un certain pouvoir défavorable. En effet, la farine blanche étudiée par cet auteur pouvait contenir une certaine proportion de membranes qui n'a pas été évaluée et dont il n'a pas été tenu compte dans le raisonnement précédent. Si la farine blanche (extraction 70-74 p. 100) employée par ATWATER ne contenait pratiquement pas de membranes, la perte énergétique fécale provoquée par la farine entière correspondait uniquement aux membranes qu'elle contenait; on ne peut alors parler, globalement, de "désassimilation". Par

contre, si cette farine blanche renfermait des quantités appréciables de membranes, le pouvoir défavorable de la farine entière serait d'autant plus important que la proportion de membranes contenues dans la farine blanche serait plus forte.

Les renseignements que nous avons trouvé au sujet de la teneur en membranes des farines blanches sont consignés dans le tableau XIV. Ils ne sont pas concordants.

Tableau XIV

AUTEUR	ALIMENT	MEMBRANES en g. p. 100 g. de pro- duit sec
RUBNER (66)	fine farine blanche	2
SEALOCK, BASINSKI et MURLIN (71)	pains correspondant à différentes farines blanches	2,5 - 2,6 - 2,75
Mac CANCE et col- laborateurs (47)	farine (taux d'extrac- tion 75 p. 100)	traces
FOURNIER (voir 4ème partie, p. 129)	farine (taux d'extrac- tion 79,8 p. 100)	traces
	pain correspondant	0,37

D'après ces chiffres, l'action défavorable de la farine entière sur l'absorption intestinale pourrait se traduire, au maximum, par une perte énergétique de 2,75 p. 100 par rapport à l'énergie utilisable de la farine blanche; mais elle pourrait aussi être nulle.

b) Détermination de Mac CANCE.

Un autre travail auquel nous nous référons afin de connaître l'influence du son de blé sur les pertes énergétiques dans l'utilisation de la ration est celui de Mac CANCE et ses collaborateurs (47).

Le but des recherches de ces auteurs est le même que celui d'ATWATER, c'est-à-dire la détermination de la valeur énergétique physiologiquement utilisable des farines à

des taux d'extraction différents. Mais les moyens employés ne sont pas les mêmes. ATWATER déterminait pour chaque principe énergétique la digestibilité, la chaleur de combustion et en tirait un facteur de conversion de la matière étudiée en énergie. Mac CANCE fait le bilan entre le pouvoir énergétique des ingesta et des excréta, fèces et urines. Il établit ainsi que la valeur énergétique physiologiquement utile de la farine blanche (extraite à 75 p. 100) est de 342 calories, celle de la farine de blé entier étant de 314 calories. La perte énergétique consécutive à l'accroissement du taux d'extraction, est ici encore de 28 calories soit 8 p. 100. Ces derniers chiffres sont identiques à ceux d'ATWATER. Remarquons que la farine blanche étudiée par Mac CANCE ne contient que des traces de membranes (voir tableau XIV). D'autre part l'auteur trouve des valeurs calorifiques physiologiquement utilisables très proches pour la farine extraite à 75 p. 100 (342 calories) et celle extraite à 85 p. 100 (339 calories).

Ces deux méthodes, basées sur des modes d'estimation différents fournissent donc les mêmes résultats, ce qui est très satisfaisant. Mais, de ce fait, on ne peut conclure à la solution des problèmes énergétiques que pose le remplacement de la farine blanche par la farine de blé entier.

Il faut en effet remarquer que ces expériences, celles d'ATWATER comme celles de Mac CANCE sont réalisées au moyen de régimes alimentaires à peu près exclusivement composés de l'une ou l'autre de ces farines.

c) Détermination de MACRAE.

MACRAE et ses collaborateurs ont réalisé une expérience dans laquelle le pain ne constitue plus à lui seul la presque totalité du régime. Mais les pains correspondant à des farines à des taux d'extraction de 73 et 100 p. 100 représentent encore 74 p. 100 de l'énergie utilisable et 90 p. 100 de la teneur en azote de la ration. Ces caractéristiques sont encore très éloignées des conditions d'une alimentation normale. Avec le pain blanc le taux d'utilisation énergétique était de 96,1 p. 100, s'abaissant à 87 p. 100, avec le pain complet (48). La différence est de 9 p. 100, chiffre très voisin de ceux donnés par ATWATER d'une part et par Mac CANCE d'autre part.

B - En alimentation mixte.

Une question importante restait posée : celle de savoir si, incorporée à un régime mixte, conforme à une alimentation normale, la farine entière allait donner lieu compte tenu des quantités consommées, aux mêmes particularités énergétiques que lorsqu'elle était consommée seule, ou si, au contraire, elle avait un rôle défavorable sur l'utilisation de l'énergie correspondant aux autres constituants de la ration.

a) Pertes énergétiques dues à l'accroissement de la valeur calorifique des fèces.

Nous avons déjà, au début de ce chapitre, répondu à la question. Mais certains de nos résultats expérimentaux, dont nous n'avons pas fait état, nous permettent, en

adoptant la méthode de Mac CANCE, de serrer le problème de plus près.

Pour les périodes D au pain blanc, et C au pain complet, périodes où les régimes sont par ailleurs, qualitativement et quantitativement aussi identiques que possible, aux membranes près, (voir 4ème partie, p.124 et 126) nous constatons que la différence entre les poids secs des fèces est, en moyenne, pour les deux sujets, de 28 g. par jour (voir tableau XIII, p. 97). Il faut, de ce poids, déduire l'excédent de matières minérales contenu dans les fèces recueillies en période C par rapport à la période D, soit 2,5 g. C'est donc à 25,5 g. de matières organiques que correspond la perte énergétique fécale consécutive à l'ingestion de pain complet. A ce poids il faut ajouter au plus 1 g. d'acides gras volatils, correspondant à l'excès de production de ces acides en période alimentaire à base de pain complet. Soit au total, un poids de 26,5 g. de matières organiques constituées essentiellement par des glucides en provenance des membranes, avec, en plus, une quantité non négligeable et indéterminée de protides correspondant à 0,9 g. d'azote.

En présence de ces données expérimentales, nous allons pouvoir chiffrer approximativement cette perte énergétique. Admettons que ces 0,9 g. d'azote fassent partie de protides, en appliquant le coefficient classique de 6,25 au poids d'azote, nous obtenons 5,6 g. de protides. Si nous appliquons à ce poids, la valeur calorifique de l'excrément-albumine déterminée par RUBNER et rapportée dans le livre de LEFEVRE (43) soit 5,7 calories par gramme, nous obtenons 32 calories. Mais si nous tenons compte de l'utilisation incomplète des protides dans l'organisme humain, la valeur calorifique utilisable est voisine de 4 calories par gramme soit environ 23 calories. Nous pouvons admettre, ce qui est en grande partie confirmé par l'analyse (voir tableau XIII) que la différence entre les 26,5 g. de l'excédent fécal de matières organiques et le poids de protides (5,6 g.) soit environ 21 g., est constituée par des glucides. Sur ces 21 g., 16,7 g. correspondent aux constituants des membranes, cellulose, hémicelluloses et lignine, le reste soit moins de 5 g. étant constitué par des glucides normalement assimilables, des hémicelluloses dissoutes, des acides gras volatils. A cet ensemble de substances, on peut assigner une valeur énergétique utilisable de 4 calories par gramme, ce qui correspond pour 21 g. à 84 calories.

Si nous faisons le total de l'énergie perdue par l'organisme du fait de la présence d'un excès de matières organiques dans les fèces recueillies lors de la phase expérimentale au pain complet, nous trouvons 23 calories pour les protides, 84 pour les glucides soit 107 calories.

Quittons le domaine des matières fécales, et cherchons à déterminer les pertes d'énergie correspondant aux urines émises dans les différentes phases de l'expérience.

Dans les tableaux XXV et XXVI figurant dans la 4ème partie de ce travail, p.142 et 143) nous avons intégré les résultats expérimentaux correspondant à la détermination de l'extrait sec et de l'azote contenus dans les urines. Ces valeurs nous ont servi à calculer les poids moyens par jour qui sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau XV

PERIODES	EXTRAIT SEC		AZOTE URINAIRE	
	Sujet I	Sujet II	Sujet I	Sujet II
	en g.	en g.	en g.	en g.
B - pain blanc + 6 g. de papier filtre	53	55	10,81	10,86
D - pain blanc	52		10,83	
C - pain complet	55	51	11,2	10,4

L'extrait sec urinaire, a été obtenu, pour des raisons de commodité, par chauffage à 40° sous vide. La dessiccation était terminée à l'étuve à 100° pendant $\frac{1}{2}$ heure. Cette manière d'opérer est certainement critiquable, mais nous devons remarquer qu'il n'existe pas de moyen de préparer un extrait sec urinaire qui soit à l'abri des critiques. Notre souci a été de réaliser pour les différentes urines, des conditions de traitement bien déterminées, afin d'obtenir des résultats comparables.

La moyenne journalière de l'extrait urinaire pour les deux sujets dans les périodes B et D à base de pain blanc est de 53,75 g., elle s'établit à 53 g. en période C à base de pain complet; elles sont donc sensiblement équivalentes. Il est déjà permis de penser que des extraits secs semblables, correspondant à des régimes alimentaires calculés pour être physiologiquement aussi proches que possible, ont un pouvoir calorifique analogue. Le fait que la quantité d'azote excrété chaque jour par les urines soit exactement la même, en moyenne, pour les deux sujets, en période de pain blanc (10,84 g.) et en période à base de pain complet (10,8 g.) appuie fortement notre conviction que la perte énergétique correspondant à l'excrétion urinaire est identique dans les deux périodes. Si, en dépit de ces résultats, nous pouvons suspecter une différence, elle serait certainement en faveur d'une moindre perte énergétique en période de pain complet, l'urine contenant vraisemblablement davantage de matières minérales à ce moment, donc à poids sec égal moins de substances énergétiques. Cependant nous pensons que la différence doit être minime, l'excrétion urinaire journalière du calcium et du phosphore étant presque la même dans les différents temps de l'expérience (comparer les chiffres des tableaux XXVII et XXVIII en ce qui concerne les périodes B, C et D, dans la 4ème partie, p.144 et 145).

Le travail de Mac CANCE (47) indique aussi des valeurs énergétiques sensiblement égales pour les urines correspondant à l'ingestion de farines à différents taux d'extraction.

La perte d'énergie consécutive à l'ingestion de pain complet est donc d'origine fécale et nous avons vu qu'elle correspondait dans les conditions expérimentales que nous avons choisies, où l'individu recevait une nourriture conforme à des normes bien établies, à 107 calories.

Or, les 500 g. de pain complet que nous consommions apportaient chaque jour 27 g. environ de cellulose, hémicelluloses et lignine. S'il s'agissait de glucides utilisés par l'organisme, ils pourraient fournir approximativement à raison de 4 calories par gramme, 108 calories. En régime mixte, comme en régime exclusif, la perte énergétique due à l'usage du pain complet correspond donc à très peu près à la valeur énergétique classiquement non utilisable par l'homme de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine que ce pain contient.

Si nous admettons qu'une fraction des constituants des membranes est absorbée, on doit penser qu'elle est utilisée. S'il en était autrement, les substances absorbées seraient éliminées par les urines et on devrait les retrouver dans l'extrait sec urinaire et il n'en est rien. Par contre, une quantité à peu près correspondante de principes normalement utilisés ne l'est pas. En fait ces principes, parmi lesquels les substances azotées semblent prépondérantes, ne proviennent pas, pour la plus grande partie, d'une insuffisance dans la digestion ou l'absorption, mais ont une autre origine endogène. Ils proviennent des sucs digestifs, ou ce qui est plus vraisemblable du développement microbien. Cette perte de principes n'en retient pas moins sur le bilan énergétique et plus encore sur le bilan azoté.

On peut d'ailleurs démontrer d'une façon plus saisissante que le pain complet semble n'apporter à la ration que ses propres inconvénients, sans les étendre aux autres constituants du régime.

Nous venons de voir que par rapport à 500 g. de pain blanc l'ingestion de 500 g. de pain complet provoque une perte énergétique fécale de 107 calories. Si nous nous reportons aux tableaux relatifs à la composition des régimes utilisés dans les différents temps de l'expérience (voir 4ème partie, p. 123, tableau XX), nous voyons que le pain blanc apporte chaque jour 1.339 calories utilisables.

Dans notre expérience, nous avons eu le souci de réaliser, autant que possible, des régimes qualitativement et quantitativement semblables. En période C, la valeur énergétique plus faible du pain complet était compensée par l'addition de sucre et d'amidon (voir tableau XVI). La principale différence entre les deux régimes C et D portait sur la richesse en membranes végétales. Dans ces conditions d'emploi du pain complet, nous constatons une perte de :

$$\frac{107 \times 100}{1.339} = 8 \text{ p. } 100 \text{ de l'énergie apportée par le pain blanc.}$$

Tableau XVI

	Régime D (pain blanc)				Régime C (pain complet)			
	protides	lipides	glucides	calories	protides	lipides	glucides	calories
	en g.	en g.	en g.		en g.	en g.	en g.	
Pain...	36,6	4,5	280	1.339	38,8	5,25	252	1.140
Sucre..	-	-	-	-	-	-	18	72
Amidon.	-	-	-	-	-	-	30	120
								1.332

Notons que ces conditions sont différentes de celles réalisées dans les expériences d'ATWATER ou de Mac CANCE sur les farines au même taux d'hydratation. Supposons que nous ayons ingéré les mêmes quantités de matières sèches de pain blanc et de pain complet. A 33,5 p. 100 d'eau, 500 g. de pain blanc donnent 332,5 g. de matière sèche. 500 g. de pain complet à 37,5 p. 100 d'eau fournissent un poids sec de 312,5 g., 332,5 g. de pain complet sec correspondent à :

$$\frac{500 \times 332,5}{312,5} = 532 \text{ g. de pain frais.}$$
 500 g. de pain complet frais provoquent une perte énergétique fécale de 107 calories. On peut admettre grossièrement que 532 g. causeraient une perte de $\frac{107 \times 532}{500} = 114$ calories soit $\frac{114 \times 100}{1.339} = 8,5$ p. 100 de la valeur énergétique du pain blanc.

Ce résultat est pratiquement le même que ceux obtenus par ATWATER et Mac CANCE. Cependant, le fait que nous ayons employé en période C un supplément de sucre et d'amidon (voir tableau XVI) ne rend pas nos résultats exactement comparables à ceux de ces auteurs. Toutefois l'influence de ce supplément sur la teneur des fèces en substances énergétiques est certainement très faible. D'après ATWATER les coefficients de digestibilité du sucre et de l'amidon sont de 0,98. Pour une ingestion de 48 g. de ces substances, le déchet intestinal est inférieur à 1 g. Le remplacement, à poids sec égal du pain blanc par le pain complet, se traduirait donc, par une perte énergétique de l'ordre de 8 p. 100 de l'énergie apportée par le pain blanc. Ceci correspond approximativement à la valeur énergétique des constituants spécifiques des membranes du pain complet.

Ainsi, dans nos conditions d'expériences, avec un régime mixte, le remplacement du pain blanc par le pain complet se traduit par une perte énergétique fécale de 107 calories, soit 3,8 p. 100 de l'énergie totale de la ration, soit de 8 p. 100 de la valeur calorifique du pain.

Ces résultats permettent d'affirmer que, dans les conditions de nos expériences, le pain complet n'a pratiquement pas influé sur la digestibilité des autres constituants de la ration.

Cependant il reste bien établi que le pain complet provoque par rapport au pain blanc, un accroissement considérable de la masse fécale.

Dans les conditions de notre expérience, l'ingestion de pain complet est accompagnée d'une élévation de 100 g. environ, en moyenne, par jour, pour les deux sujets, du poids frais des matières fécales (voir tableau VII, p.66).

Une telle constatation pose deux problèmes que nous allons essayer de résoudre.

b) Energie nécessaire au transport de la masse fécale.

La progression dans l'intestin d'une masse plus grande réclame un travail plus intense, ce qui correspond à une dépense d'énergie. Cette quantité d'énergie est-elle suffisante pour amoindrir notablement la valeur énergétique du pain noir par rapport au pain blanc ? Certains auteurs n'ont pas manqué de le prétendre (9).

LAPICQUE rappelle que le déplacement du bol alimentaire s'effectuant dans le sens de la pesanteur, le travail nécessaire à sa progression devrait être théoriquement nul, mais qu'en fait il ne l'est pas (42).

Supposons que les 100 g. de déchets soient à transporter en palier, sur toute la longueur du tube digestif, soit environ 10 mètres. Le travail correspondant à ce transport sera de 0,100 kg. x 10 = 1 kilogrammètre. Si nous estimons que le rendement musculaire est de 20 p. 100, c'est une quantité d'énergie équivalant à 5 kilogrammètres qu'il faudra dépenser. Par ailleurs, nous savons que l'équivalent mécanique de la grande calorie est de 425 kilogrammètres. Ces 5 kilogrammètres correspondent donc à $\frac{5}{425}$ de calorie, soit environ 1/100 de calorie. En dépit de ce mode d'évaluation incertain, on peut admettre que l'énergie correspondant au transport de la masse fécale est infime par rapport à la valeur énergétique totale d'une ration de 2.800 calories utilisables.

Sans doute, on peut objecter que les 100 g. de matières fécales recueillies en supplément pendant l'alimentation au pain complet ne correspondent pas complètement à l'accroissement de la masse du contenu intestinal. Il est bien établi que les résidus de la digestion forment une masse aqueuse qui subit dans le gros intestin une concentration importante, par réabsorption d'eau. Mais en admettant même que la masse ait été avant la défécation, dix fois plus grande, la dépense énergétique correspondant à son transport serait encore insignifiante par rapport à la valeur énergétique de la ration.

Il est difficile d'expliquer que le poids des selles s'accroisse de 100 g. en moyenne, pour les deux sujets, alors que les substances responsables en majorité de

cette augmentation, cellulose, hémicelluloses et lignine, matières minérales, pour la plupart insolubles dans l'eau, ne représentent ensemble qu'environ 20 g. de matières sèches. On peut trouver une explication simple, à savoir que la réabsorption de l'eau, dans le gros intestin, n'a pas le temps de s'effectuer lors de l'ingestion de pain complet, par suite de l'accroissement de la vitesse du transit intestinal. Mais nous avons déjà exposé, d'après nos recherches, qu'une telle assertion était peu valable dans notre cas, la vitesse du transit étant peu influencée par le régime alimentaire utilisé dans les différentes périodes de nos expériences. Peut-on admettre que les constituants spécifiques des membranes, fort peu hydrophiles à l'état naturel puissent acquérir, du fait de l'action des milieux digestifs, un fort pouvoir d'imbibition ? Ou encore doit-on penser que la présence de matières minérales plus abondantes dans les selles correspondant à l'ingestion de pain complet, peut rendre compte de l'existence d'une quantité plus grande d'eau, par suite de phénomènes osmotiques ? Nous ne pouvons pas répondre à ces questions, qui nécessiteraient une étude expérimentale spéciale, importante certes, mais qui nous éloignerait de la ligne générale de ces recherches concernant les constituants des membranes végétales, leur sort au cours de la digestion et leur influence sur la nutrition de l'homme. Signalons aussi que le son de blé est capable d'absorber de grandes quantités d'eau ce qui explique le taux d'hydratation supérieur des pains faits avec des farines peu blutées.

c) Energie correspondant à la sécrétion des sucs digestifs.

S'il y avait, dans le cas d'ingestion de pain complet une augmentation des dépenses énergétiques du fait du transit digestif, il faudrait plutôt en rechercher l'origine dans une sécrétion accrue des sucs digestifs.

Il est bien démontré, à la suite d'une série de travaux rapportés par LEFEVRE dans le livre qu'il a consacré à la Chaleur animale et à la Bioénergétique (43) que la chaleur produite par la sécrétion des glandes croît avec leur degré d'activité. On peut penser qu'en ce qui concerne le fonctionnement des glandes salivaires - et aussi le travail de la mastication - l'énergie dépensée est la même qu'il s'agisse de pain blanc ou de pain complet. Il reste à connaître l'influence des parties périphériques du grain de blé sur les sécrétions des autres glandes digestives. On ne sait rien de certain à ce sujet. Cependant, il ne nous semble pas qu'il puisse y avoir là une modification notable du tableau énergétique que nous avons brossé. D'après LEFEVRE la part des glandes digestives - hormis le foie - dans la calorification générale de l'individu est très faible.

Pour BENEDICT (7) l'influence du taux d'extraction des farines sur les pertes supplémentaires de chaleur dues au travail digestif ne seraient pas à prendre en considération.

En conclusion, nous pouvons dire que l'ingestion de farines contenant des taux très différents de membranes n'influe pas notablement sur la valeur énergétique utilisable de la ration. Cependant, il s'agit là d'une constatation globale, les coefficients d'utilisation digestive de certains groupes de principes énergétiques pouvant présenter des variations importantes, les protides en particulier.

Ces conclusions s'accordent avec les résultats des expériences de SEALOCK , BASINSKI et MURLIN (71). Ces auteurs utilisent des régimes mixtes, conformes aux coutumes alimentaires américaines, régimes qui diffèrent des nôtres, par une grande abondance de protides et de lipides, et par une diminution des proportions de glucides, diminution portant particulièrement sur les quantités de pain ingéré. Dans ces conditions d'expérience, la valeur plus élevée du résidu indigestible des produits à base de blé entier, n'intervient pas dans la digestion et l'absorption des glucides et des lipides de la ration. Par contre, le coefficient d'utilisation digestive de l'azote est abaissé. La perte énergétique notable correspondant à l'abaissement de ce coefficient est compensée par l'utilisation d'une fraction des glucides classiquement indigestibles.

II - INFLUENCE DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES DES LEGUMES ET DES FRUITS.

Au sujet de l'utilisation de l'énergie apportée par la ration, on peut admettre que les membranes végétales ingérées peuvent jouer l'un des trois rôles suivants :

- indifférent, c'est-à-dire que le poids des membranes ingérées va se retrouver exactement dans les fèces. Ces dernières ne subissent aucune autre modification qu'un accroissement de poids sec correspondant aux quantités de membranes contenues dans la ration. C'est ainsi que se comporte le papier filtre. Nous avons vu que les membranes du blé n'ont pas non plus un rôle notable sur l'utilisation de l'énergie de la ration. Mais le cas est alors très différent de celui du papier : une proportion importante des constituants des membranes est utilisée; par contre des éléments considérés comme normalement utilisables sont rejetés par les fèces. Dans nos conditions d'expérience, ces deux phénomènes se compensent.

- défavorable ou "désassimilateur", c'est-à-dire que le poids des substances énergétiques apparues dans les fèces l'emporte sur le poids de membranes ingérées;

- favorable dans le cas contraire.

Le problème de l'influence des membranes des légumes et des fruits sur l'utilisation de l'énergie de la ration a été peu étudié. Toutefois, RUBNER (66) a consacré à la valeur de ces aliments une série d'importants travaux. Certains chiffres empruntés à cet auteur, des calculs effectués d'après ses résultats d'expérience et certaines déterminations personnelles nous fournissent quelques clartés sur cette question. Les renseignements extraits des exposés de RUBNER sont groupés dans le tableau XVII.

La comparaison des chiffres des colonnes I et 2 fait ressortir une grande différence entre la chaleur de combustion des légumes et des fruits et leur valeur énergétique physiologiquement utilisable. Le pourcentage d'énergie non utilisable, peut s'élever jusqu'à 40 p. 100 (colonne 3). Cette inutilisation ne s'explique pas complètement, en général, d'après les pertes calorifiques d'origine fécale (colonne 4). RUBNER montre qu'en plus des pertes énergétiques fécales l'ingestion de légumes et de

Tableau XVII

ALIMENTS	Chaleur de combustion p. 100 g. secs en Cal.	Energie physiolo- giquement utilisable p. 100 g. secs en Cal.	Pourcentage d'énergie non utilisable $\frac{1-2}{1}$ (calculé)	Pourcentage de pertes calorifiques d'origine fécale	Teneur de l'aliment en membranes p. 100 g. secs en g.	Poids de membranes résorbées p. 100 g. secs en g.	Calories fournies par les membranes résorbées
Pomme de terre	1	2 360	3	4 6,6	5 6	6 5,5	7 22,7
Pomme	408	361	11,5	11,7	7,9	6,2	25
Carotte	361	307	15	12,7	26,6	25	102,5
Chou-navet (rutabaga)	409	315	30	21,9	22,2	18,3	75
Chou frisé	353	214	39,4	29,7	30	26,5	109

fruits s'accompagne souvent de l'élimination, par les urines, de principes énergétiques inutilisés (amides, hexoses et pentoses).

La comparaison des chiffres des colonnes 5 et 6 du tableau XVII nous rappelle ce que nous avons vu dans la 2ème partie de ce travail, à savoir que les membranes des légumes et des fruits frais disparaissent en proportion considérable au cours du transit digestif. Leur coefficient de digestibilité dépasse souvent 80, parfois même 90 p.100

Ainsi la valeur énergétique physiologiquement utilisable des légumes et des fruits est relativement basse, malgré l'utilisation d'une fraction importante des membranes qu'ils contiennent. A cela, ajoutons que la teneur de ces aliments en membranes est souvent considérable. Nous comprenons alors que RUBNER ait trouvé qu'une proportion notable de l'énergie fournie par les légumes et les fruits provienne de leurs membranes. Pour le chou frisé, les membranes procurent à l'organisme humain plus de 50 p. 100 - 109 calories pour 214 - de l'énergie physiologiquement utilisable apportée par cet aliment. Pour la carotte, la proportion est de 30 p. 100.

D'après ces chiffres, on est tenté de conclure à l'influence très favorable des membranes des légumes et des fruits sur l'utilisation de l'énergie apportée par ces aliments.

Toutefois, une comparaison entre les chiffres des colonnes 4 et 5 appelle quelques réserves. Comme dans le cas des céréales, on constate que les pertes calorifiques fécales croissent en même temps que la teneur des légumes et des fruits en membranes. Dans cette coïncidence, RUBNER voit une relation causale. L'auteur écrit à ce sujet : " L'addition - au régime - de substances à demi digestibles, comme des membranes cellulaires, provoque, presque sans exception, un accroissement des produits du métabolisme intestinal, accroissement dont l'amplitude dépend de la nature des substances ajoutées ". (67)

Nous avons longuement discuté cette question à propos du blé. Dans le cas des légumes et des fruits, il est peu probable que les membranes puissent être tenues pour directement responsables des pertes énergétiques d'origine fécale.

Notons tout d'abord que ces pertes correspondent surtout à des substances d'origine endogène. Le faible résidu de la digestion des membranes ne permet d'attribuer, que dans une faible mesure, une origine exogène à l'accroissement de la valeur énergétique des fèces. Cet accroissement correspond, pour une part importante, à l'augmentation des quantités de matières azotées fécales.

Même dans le cas où la teneur de l'aliment en membranes est relativement faible et où les membranes sont utilisées en forte proportion, les quantités d'azote contenues dans les fèces sont si fortes que, pour la pomme, par exemple, l'individu rejette plus d'azote que l'aliment ne lui en fournit.

Mais dans quelle mesure les membranes sont-elles responsables des phénomènes constatés ?

Pour le savoir, il faudrait séparer les membranes des contenus cellulaires. A un même régime de base, il faudrait, dans une première expérience, ajouter le légume étudié; dans une deuxième, le régime serait additionné des membranes et, du contenu cellulaire dans une troisième. Dans chaque cas, les caractères des fèces seraient examinés.

L'expérience n'a pas été réalisée complètement. Cependant ADOLPH et WU (2) ont montré que les membranes du chou, même ingérées en grande quantité n'avaient aucune action sur l'excrétion d'azote fécal. RUBNER trouve, au contraire, que la consommation du chou, de même que celle d'autres légumes et fruits, conduit à une forte teneur des fèces en azote.

A première vue, ces expériences semblent montrer que les membranes n'interviennent pas et que, seuls, les contenus cellulaires sont responsables des phénomènes constatés. Cependant on conçoit que les membranes peuvent agir indirectement sur les pertes énergétiques d'origine fécale. Leur disparition presque totale dans l'intestin traduit une attaque microbienne intense. Il est donc fort possible que les membranes des légumes et des fruits constituent un substrat qui n'est bien utilisé que si certains éléments indispensables à la croissance des bactéries, éléments provenant des contenus cellulaires, sont présents. C'est donc la portion désintégrée des membranes qui influencerait sur les pertes énergétiques d'origine fécale.

Nos résultats d'expériences nous ont conduit aux mêmes conclusions essentielles:

- disparition intestinale d'une forte proportion des membranes des légumes ingérés;
- accroissement du poids sec et de la teneur en azote des fèces;
- bilan énergétique fécal favorable : la quantité de membranes désintégrées (7g.) est supérieure à l'accroissement de poids sec des fèces (4 g.) (voir tableaux VI, p. 52 et VII, p. 66);
- bilan énergétique urinaire défavorable : dans toutes les périodes à alimentation naturelle, composée en partie de divers légumes, l'extrait sec urinaire est notablement plus élevé que dans les périodes à alimentation semi-synthétique, cependant énergétiquement équivalente (voir tableau XXV).

Au total, étant donné d'une part l'utilisation énergétique d'une fraction importante des membranes des légumes et des fruits et d'autre part les pertes énergétiques urinaires et fécales causées par ces aliments, pertes auxquelles les membranes ne sont certainement pas tout à fait étrangères, on peut conclure qu'au point de vue énergétique, les membranes des légumes et des fruits n'influencent pas défavorablement l'utilisation de l'énergie apportée par la ration.

BIBLIOGRAPHIE - 3ème partie.

1. ABDERHALDEN (E.) et (R.). - Pflügers. Arch., 1938, 240, 388.
2. ADOLPH (W.H.) et WU (M.Y.). - Journ. of Nutr., 1934, 7, 381.
3. AGID (R.), BEAUVALLET (M.) et MINZ (B.). - C.R. Soc. Biol., 1937, 126, 982.
4. AGID (R.) et MINZ (B.). - C.R. Ac. Sc., 1937, 205, 567.
5. ATWATER (W.O.). - 12 th Annual Report of Storrs (Connecticut) Agricultural Experiment Station, 1899, p. 69-110.
6. BAKER (F.) et PALMER (S.). - Nature, 1946, 157, 412.
7. BENEDICT (F.G.). - Bull. Soc. sc. Hyg. alim., 1919, 7, 584.
8. BERTRAND (G.). - Bull. Soc. sc. Hyg. alim., 1919, 7, 577.
9. BERTRAND (G.). - Bull. Acad. Méd., 1940, 123, 935.
10. BINET (L.), CROSNIER (R.) et MARGUERITTE (J.). - C.R. Acad. Sc., 1944, 219, 353.
11. BINET (L.), CROSNIER (R.) et MARGUERITTE (J.). - Journ. de Physiol. et Pathol. gén., 1941-45, 38, 273.
12. BINET (L.) et MINZ (B.). - C.R. Soc. Biol., 1934, 116, 107.
13. BOOTH (R.G.) et MORAN (T.). - Lancet, 1946, 251, 119.
14. COWGILL (G.) et ANDERSON (W.). - J. Amer. Med. Assoc., 1932, 98, 1866.
15. COWGILL (G.) et SULLIVAN (A.). - J. Amer. Med. Assoc., 1933, 100, 795.
16. CROSNIER (R.). - 6ème rapport annexe IV. Bureau Central des Recherches. Ministère de l'Agriculture et du Ravitaillement, 1943, p. 7 à 50.
17. DEUEL (H.), JOHNSTON (C.), MOREHOUSE (M.), ROLLMAN (H.) et WINZLER (R.). - Journ. of Biol. Chem., 1945, 157, 135.
18. ELSDEN (S.R.). - J. Exp. biol., 1945, 22, 51.
19. FIESSINGER (N.), OLIVIER (H.R.) et HERBAIN (M.). - Les Diagnostics Biologiques, 4ème édit., Maloine, Edt., Paris, 1938, p. 58.
20. FIESSINGER (N.). - Presse Médicale, la carence en cellulose, 1932, 60, 1173.

21. FOLLING (A.). - Acta med. scand., 1931, 77, 187, dans Chem. Abstra., 1932, 1647.
- 21 b. FOURNIER (P.). - Rev. gén. de Bot., 1948, 55, 49.
22. FOURNIER (P.). - Bull. Soc. sc. Hyg. alim., 1946, 34, 155; Bull. Ecole de Meunerie, 1947, 101, 178.
23. FUNNEL (E.), VAHLTEICH (E.), MORRIS (S.), Mac LEOD (G.) et ROSE (S.). - Journ. of Nutr., 1936, 11, 37.
24. FURTH (O.) et MAJER (E.H.). - Pflügers Arch., 1932, 230, 475.
25. GOIFFON (R.). - Bull. Acad. Méd., 1943, 127, 102.
26. GOIFFON (R.). - Manuel de Coprologie clinique, Masson Edit., Paris, 1942.
27. GROVE (E.W.), OLIMSTED (W.H.) et KOENIG (K.). - J. of Biol. Chem., 1929, 85, 127.
28. GUILLEMET (R.). - Ann. Nutr. et Alim., 1947, I, 437.
29. GUILLEMET (R.), JACQUOT (R.), TREMOLIERES (J.) et ERFMANN (R.). - Bull. Acad. Méd., 1944, 128, 608.
30. GUILLEMET (R.), JACQUOT (R.), TREMOLIERES (J.) et ERFMANN (R.). - Bull. Soc. Chim. biol., 1945, 27, 56.
31. HENNEBERG (W.) et STOHRMANN (F.). - Ztschr. f. Biol., 1885, 21, 613.
32. HEUPKE (W.). - Munch. med. Wochschr., 1933, 80, 1969.
33. HEUPKE (W.) et MARX (A.V.). - Arch. Verdauung Krankh., 1928, 44, 23.
34. HEUPKE (W.). - Die Faeces des Menschen; Steinkopf édit., Dresde et Leipzig, 1943.
35. HINTON (J.J.C.). - Biochem. Journ., 1944, 38, 214.
36. HOLMES (A.D.). - U.S. Départ. Agric., 1919, Bull. n° 751.
37. HOPFFE (A.). - Z. Inf. Krankh. Haustiere, 1913, 14, 307, cité par MANGOLD (E.) Handbuch der Ernährung u. des Stoffwechsels der landwirtschaftlichen Nutztiere, Springer ed. Berlin, 1929, tome II.
38. HOROWITZ (L.M.). - Z. phys. Chem., 1907, 52, 95.
39. JACQUOT (R.). - Chimie et Industrie, 1946, 55, 424.
40. JORDAN (W.H.), PATTEN (E.B.) et HART (A.J.). - Amer. J. Physiol., 1906, 16, 268.

41. KELLNER (O.). - Die Ernährung d. landw. Nutztiere, Fingerling, 10° édit., 1924, cité par (49).
42. LAPIQUE (L.). - Bull. Acad. Méd., 1940, 123, 943.
43. LEFEVRE (J.). - Chaleur animale et Bioénergétique; Masson Edit., Paris, 1911.
44. LEHMANN (R.). - Arch. f. Hyg., 1902, 45, 178.
45. LORBER (V.), LIFSON (N.) et WOOD (H.G.). - Journ. of Biol. Chem., 1945, 161, 411.
46. Mac CANCE (R.A.). - Lancet, 1946, 250, 77.
47. Mac CANCE (R.A.), WIDDOWSON (E.M.), MORAN (T.), PRINGLE (W.J.S.) et MACRAE (T.F.)
- Biochem. Journ., 1945, 39, 213.
48. MACRAE (T.F.), HUTCHINSON (J.C.D.), IRWIN (J.O.), BACON (J.J.D.) et Mac DOUGALL
(E.). - Journ. of Hyg., 1942, 42, 423.
49. MANGOLD (E.). - Nutrition Abstr. and Rev. 1934, 3, 647.
50. MALLEVRE (A.). - Pflügers Arch., 1891, 49, 460.
51. MENDEL (L.) et FINE (M.S.). - Journ. of biol. Chem., 1912, 11, 5.
52. MINZ (B.). - C.R. Soc. Biol., 1938 127, 1251.
53. MINZ (B.). - C.R. Soc. Biol., 1939, 131, 1156.
54. MINZ (B.). - C.R. Soc. Biol., 1946, 140, 412.
55. MINZ (B.) et PLOTKA (C.). - C.R. Soc. Biol., 1947, 141, 106.
56. MITCHELL (H.H.). - Journ. of biol. Chem., 1924, 58, 873.
57. MULLER (M.). - Pflügers Arch., 1906, 112, 245.
58. OLMSTED (W.H.), WHITAKER (W.M.) et DUDEN (C.W.). - Journ. of Biol. Chem., 1929,
85, 109.
59. OLMSTED (W.H.), DUDEN (C.W.), WHITAKER (W.M.) et PARKER (R.F.). - Journ. of
biol. Chem., 1929, 85, 115.
60. RANDOIN (L.), DELAROUZEE (G.) et FOURNIER (P.). - Bull. Soc. sc. Hyg. alim.,
1943, 31, 177.
61. RANDOIN (L.), FOURNIER (P.) et DIGAUD (A.). - Bull. Soc. sc. Hyg. alim., 1944,
32, 21; Bull. Soc. Chim. biol., 1945, 27, 40.

62. RITTENBERG (D.) et BLOCH (K.). - Journ. of biol. Chem., 1945, 160, 417.
63. ROCHE (A.). - C.R. Soc. Biol., 1929, 99, 1973.
64. RUBNER (M.). - Arch. f. Anat. u. Physiol. - Physiol. Abt., 1916, p. 67.
65. RUBNER (M.). - Ztschr. f. Biol., 1883, 19, 19.
66. RUBNER (M.). - Arch. f. Anat. u. Physiol. - Physiol. Abt., 1918, 53.
67. RUBNER (M.). - Arch. f. Anat. u. Physiol. - Physiol. Abt., 1918, 135.
68. RUBNER (M.) et THOMAS (K.). - Arch. f. Anat. und Physiol., 1916, 165.
- 68 b. SCAFFIDI (V.) et LEOCATA (G.). - Boll. soc. ital. biol. sper., 1941, 16, 282
dans Chem. Abst., 1946, 40, 5836⁵.
69. SCHIEBLICH (M.). - Dans MANGOLD, Handbuch der Ernährung u. des Stoffwechsels der
landwirtschaftlichen Nutztiere, Springer éd., Berlin, 1929, tome
II, p. 331.
70. SCHREUER (M.). - Dans OPPENHEIMER : Handbuch der Biochemie des Menschen und der
Tiere, 1925, 5, 345.
71. SEALOCK (R.), BASINSKI (D.) et MURLIN (R.). - Journ. of Nutr., 1941, 22, 589.
72. STRASBURGER (J.). - Z. klin. Med., 46, 5/6.
73. SNYDER (H.). - U.S. Depart. Agric., Off. Exp. Stat., 1901, Bull. n° 101; 1903,
Bull. n° 126.
74. TERROINE (E.). - Le métabolisme de l'azote. Vol. 2, Physiologie des substances
protéiques. Presses Universitaires, Paris, 1936, 1ère partie, 2ème chapitre.
75. TREMOLIERES (J.) et ERFMANN (R.). - Bull. Acad. méd., 1943, 127, 641.
76. TREMOLIERES (J.) et ERFMANN (R.). - Bull. Acad. méd., 1944, 128, 44.
77. Van der RIES et GOSMANN. - Klin. Wochschr., 1925, 4, 1068.
78. WEINERT (H.). - Z. Tierzucht. Zuchtungsbiol. Tierernähr., 1931, 22, 76, dans
Chem. Abstr. 1932, 26, 179.
79. WILLIAMS (R.) et OLMSTED (W.). - Journ. of Nutr., 1936, 11, 433.

80. WOODMAN (H.E.). - J. Agric. Sc., 1927, 17, 333.
81. WOODS (C.D.) et MERRIL (L.H.). - U.S. Depart. Agric., Off. Exp. Stat., 1904,
Bull. N° 143.
82. WRIGHT. - Lancet, 1942, 243, 165.
83. ZUNTZ (N.). - Landwirtsch. Jahrb., 1879, 8, 65.

Quatrième partie.

DES EXPERIENCES DE NUTRITION REALISEES SUR L'HOMME.

Chapitre premier.

ESSAI DE NORMALISATION DES REGIMES A EMPLOYER

DANS DES ETUDES DE NUTRITION REALISEES SUR L'HOMME.

A plusieurs reprises, nous avons été amené à constater le caractère très spécial des régimes alimentaires employés dans certaines expériences sur l'homme. Dans le cas particulier de l'étude de l'influence des membranes végétales sur les phénomènes digestifs, nous avons pu constater que les régimes sont parfois caractérisés par l'emploi d'un seul aliment. Par exemple, RUBNER (12) utilise uniquement des choux ou des pommes de terre, d'autres introduisent des membranes végétales en quantité et de qualité telle que les défécations s'accompagnent d'accidents d'irritation (14). Il est très difficile d'étendre les résultats ainsi obtenus à l'alimentation normale de l'homme.

Les besoins de l'individu sont maintenant mieux connus et nous pensons qu'il y aurait le plus grand intérêt à normaliser les régimes, afin de donner aux expériences plus de portée pratique et de permettre une comparaison entre les résultats qu'elles fournissent.

Les progrès réalisés pendant ces dernières années s'appuient à la fois sur des recherches de laboratoire et sur des enquêtes alimentaires. Ils ont permis d'établir des types de régimes correspondant aux diverses conditions physiologiques dans lesquelles l'homme se trouve placé.

Dans un ouvrage intitulé : Tables de composition des Aliments, L. RANDOIN indique les normes de l'alimentation humaine, compte tenu des différents facteurs : âge, sexe, état physiologique spécial, travail effectué, température extérieure, qui influent sur les besoins alimentaires de l'homme (9).

D'après ce travail, pour des adultes ayant une activité moyenne, nous constatons que les apports alimentaires optima devraient être chaque jour ceux mentionnés dans le tableau XVIII.

C'est d'après ces données étayées par de nombreuses recherches, que nous avons établi les régimes alimentaires employés dans les différents temps de l'expérience dont les principaux résultats ont été exposés antérieurement.

En possession de ces chiffres, nous avons établi des régimes quotidiens conformes aux normes et nous permettant l'étude sur les membranes végétales que nous entreprenions. Nous nous sommes efforcé de composer des rations telles qu'elles puissent nous donner toute garantie quant à la fixité des principes ingérés, les membranes végétales et certaines des substances qui les accompagnent dans le son étant les seules variables.

Tableau XVIII

Calories	2.800
Protides animauxen g.	30
Protides végétauxen g.	45
Lipides animauxen g.	35
Lipides végétauxen g.	25
Glucidesen g.	490
Phosphoreen mg.	I.350
Calciumen mg.	945
Feren mg.	20
Vitamine Cen mg.	80
Vitamine B1en mg.	I,5
Vitamine B2en mg.	2,25
Vitamine PPen mg.	I6
Carotèneen mg.	2,20
Vitamine Aen mg.	0,2 à 0,4
Vitamine Den mg.	0,003 à 0,010
Rapports :	
Protides/glucides	0,15
Protides animaux/protides végétaux	0,66
Calcium/phosphore	0,70
Calcium/fer	47
Vitamine B en μ g./glucides en g	7,6
Vitamine C en μ g./calories totales	29

Réciproquement, l'étude du fonctionnement général de l'organisme par l'établissement des bilans de l'azote, du calcium et du phosphore et par l'estimation du taux de la vitamine B1 urinaire, allait nous permettre de savoir dans quelle mesure les normes proposées sont acceptables et surtout d'examiner leur valeur de généralisation, les régimes employés étant tous conformes aux normes figurant dans le tableau précédent, avec des types d'alimentation très différents.

Tableau XIX

ALIMENTATION NATURELLE UTILISEE PENDANT LES PERIODES A

Aliments	Poids net par jour	Calories	Cellulose+hémicel- lulose + lignine	Protides	Lipides	Glucides	Phosphore	Calcium	Fer	Vitamine C	Vitamine B1	Vitamine B2	Vitamine PP	Carotène	Vitamine A	Vitamine D
Viande de boeuf	86 g	139	g° 15,5	g° 8,6	g° 11,6	mg° 189	mg° 360	mg° 500	mg° 3	mg° 1	mg° 0,15	mg° 0,24	mg° 3,8	mg° 0,1	mg° 0,017	mg°
Lait	400 cc	242		13,8	12				0,4	4	0,16	0,52	0,9	0,1	0,080	0,0008
Beurre	18 g	136		0,2	15		2,5	2							0,1	0,0005
Huile d'olive	19 g	171			19											
Pain blanc (33,5 p.100 d'eau)...	500 g	1339	1,5	36,6	4,5	280,5	450	156	5		0,50	0,30	2			
Pommes de terre	350 g	310	2,4	7	0,3	70	210	52,5	3,5	env. 20	0,30	0,37	6	0,1		
Carottes	350 g	149	4,7	3,5	1	31,5	105	175	4,2	env. 15	0,60	0,31	1	3,5		
Laitue	100 g	23	1,6	1	0,3	4	20	30	1	env. 40	0,10	0,1	0,3	3		
Sucre	12 g	48				12										
Extrait de malt	40 g	124		1		30	40	6	0,5		0,2	0,2				
Miel	40 g	120		0,1		30	6	6	0,3							
Eau de boisson.....	1,200L							105								
Totaux		2801		78,7	60,7	469,6	1382,5	1308	17,9	env. 80	2,01	2,04	14	6,7	0,197	0,0013
Normes de L.RANDOIN..		2800		75	60	490	1350	945	20	80	1,5	2,25	16	2,2	0,2 à 0,4	0,003 à 0,01

Chapitre II.

DETAILS TECHNIQUES CONCERNANT L'EXPERIENCE

SUR L'HOMME DONT LES RESULTATS ONT ETE DONNES ANTERIEUREMENT.

I - ETABLISSEMENT DES REGIMES D'EXPERIENCE.

I°) Régime naturel.

L'établissement de ce régime répond à plusieurs préoccupations :

a) Fournir à l'individu un régime naturel qui serve en quelque sorte d'étalon physiologique aux autres régimes.

L'emploi d'un régime naturel a le grand avantage d'une ingestion facile. Mais il a l'inconvénient d'introduire des causes d'erreurs dues aux variations normales dans la composition des aliments consommés. On peut obvier, en partie au moins, à cet inconvénient en constituant des stocks d'aliments de même origine. Toutefois, pour certains produits comme les légumes et les fruits frais, la difficulté est pratiquement insurmontable. Et même, pour la viande et en général pour tous les aliments hydratés, la constance des ingesta est difficile à réaliser, par suite des différences inévitables dans le taux d'hydratation.

b) L'emploi d'un régime naturel avait une grande importance dans le cadre d'une expérience de très longue durée : 75 jours au total dont 45 comportaient un régime semi-synthétique. Les normes alimentaires que nous avons adoptées ne concernent que certains éléments minéraux et vitaminiques essentiels. Pour le reste, nous n'avons pas jugé indispensable de nous imposer de telles rigueurs. D'ailleurs les normes sont indéterminées pour certains éléments minéraux et vitaminiques. A la longue, de tels régimes déficients en certains éléments indispensables connus - et sans doute aussi certaines substances non encore décelées - pouvaient entraîner, sinon des troubles notables, du moins de légers changements dans le métabolisme, qu'il valait mieux éviter. Ainsi, au lieu de faire se succéder sans interruption les diverses périodes de 9 jours à alimentation semi-synthétique, nous avons préféré les séparer par 5 jours de régime naturel afin de permettre une régulation des fonctions de l'organisme et ainsi de présenter les individus au début de chaque période à alimentation semi-synthétique dans des conditions initiales aussi semblables que possible.

Tableau XX

RÉGIME SEMI ARTIFICIEL EMPLOYÉ PENDANT LES PÉRIODES B ET D

Aliments	Quantités ingérées par jour	Calories	Cellulose+hémicel- lulose + lignine	Protides	Lipides	Glucides	Phosphore	Calcium	Fer	Vitamine C	Vitamine B1	Vitamine B2	Vitamine PP	Carotène	Vitamine A	Vitamine D
Pain blanc (33,5 p.100 d'eau, 79,8 p.100 extract.)	500	1339	1,5	36,6	4,5	280	450	156	2	mg.	0,5	0,3	2	mg	mg	mg
Farine à 79,8 p.100 extract.	120	423	0,2	10,6	1,4	92	144	24	0,3		0,15	0,1	1			
Caséine acide	15	56		14			112	14								
Lait en poudre écrémé	20	73		7,3	0,4	10	175	160	0,3		0,08	0,25	0,4			
Lait stérilisé	240 cc	160		8,3	8,8	12	216	300	0,2		0,1	0,31	0,5			0,0005
Sucre	87	348				87										
Beurre	31	235		0,3	26		3	4							0,16	0,0008
Huile d'olive	19	171			19											
Mélange salin : Phosphate diacide de calcium Citrate de fer	1,22 0,065						280	180	11							
Chlorure de sodium	7															
Vitamines synthétiques										80	0,7	0,7	14			
Eau	1,500L							132								
Totaux		2805		77,1	60,1	481	1380	970	13,8	80	1,53	1,7	18		0,16	0,0013
Normes		2800		75	60	490	1350	945	15	80	1,50	2,25	16	2,2	0,2 à 0,4	0,003 à 0,01

L'établissement d'un régime naturel conforme aux normes proposées par L.RANDOIN consiste à choisir des aliments, en quantité et en qualité telles qu'ils apportent le poids requis de tous les principes nutritifs mentionnés dans le tableau XVIII. Ce n'est pas une chose facile, d'autant que nous avons en plus, la préoccupation d'ingérer des quantités déterminées de membranes végétales. A la suite de nombreux calculs, effectués après l'analyse particulière de certains aliments ou d'après les chiffres des Tables de composition des Aliments de L. RANDOIN, LE GALLIC et CAUSERET (11), nous avons établi le régime dont la composition détaillée fait l'objet du tableau XIX.

L'exigence la plus difficile à satisfaire est certainement la consommation d'une dose suffisante de calcium, dans un régime contenant un poids de pain assez élevé pour apporter des quantités considérables de phosphore. Nous n'avons pu réaliser le poids voulu de calcium qu'en introduisant dans le régime un volume de 400 cm³ de lait.

2°) Régime semi-synthétique à base de pain blanc.

Le tableau XX donne le détail du régime employé pendant les périodes B et D.

Si l'on compare ce régime au précédent, on constate que tous les aliments pouvant introduire quelque indétermination au sujet des principes ingérés : viande, légumes, ont été remplacés par des aliments artificiels offrant toute garantie quant à la constance de leur composition. Pour que ce régime s'aligne sur les normes et soit assez comparable au premier, nous avons été amené à lui adjoindre un mélange salin et des vitamines synthétiques.

Ce régime a servi au cours de deux périodes de 9 jours ne différant l'une de l'autre que par l'addition dans l'une d'elle (en B), d'une charge cellulosique quotidienne constituée par 6 g. de papier filtre.

Tous les dérivés des céréales utilisés au cours des différentes phases expérimentales proviennent d'un même blé (x).

Les diverses substances qui entrent dans la composition de ce régime ont toutes été analysées spécialement, à l'exception de l'huile, du beurre et du sucre. Parmi les vitamines nous n'avons effectué que le dosage de la vitamine B₁. Les autres teneurs en vitamines ont été calculées d'après les indications fournies par les Tables de composition des Aliments (11).

(x) - Les pains utilisés dans les différents temps de l'expérience ont été fabriqués par l'Ecole Française de Meunerie. Nous tenons à remercier vivement Monsieur NURET, Professeur à cette Ecole, des services et des conseils qu'il nous a prodigués dans ces étapes essentielles de nos recherches : obtentions du blé, contrôle de la mouture, préparation du pain.

Tableau XXI

REGIME SEMI-SYNTHETIQUE UTILISE EN PERIODE C

Aliments	Poids net par jour	Calories	Cellulose+hémicel- lulose + Lignine	Protides	Lipides	Glucides	Phosphore	Calcium	Fer	Vitamine C	Vitamine B1	Vitamine B2	Vitamine PP	Carotène	Vitamine A	Vitamine D
Pain complet (37,5 p. 100 d'eau)	500	1140	27	38,8	5,25	252	1182	214	12,5		1,20	1	17,5		3m	mg
Farine à 79,8 p.100 d'extr.	120	423	0,2	10,6	1,4	92	144	24	1,5		0,15	0,1	1			
Caséine acide	15	56		14			112	14								
Lait en poudre écrémé ...	20	73		7,3	0,4	10	175	160	0,2		0,08	0,25				
Lait stérilisé	240 cc	160		8,3	8,8	12	216	300	0,3		0,1	0,31	0,5			0,0005
Sucre	105	420				105										
Amidon de maïs	30	120				30										
Beurre	31	235		0,3	26		3	4							0,16	0,0008
Huile	19	171			19											
Mélange salin : Lactate de calcium Citrate de fer Chlorure de sodium	1,45 0,020 7							188	3,5							
Vitamine C										80						
Eau	11,500							132								
Totaux		2798		79,3	60,8	501	1832	1036	18	80	1,53	1,66	19		0,16	0,0013
Normes		2800		75	60	490	1350	945	15	80	1,5	2,25	16	2,2	0,2 a 0,4	0,003 a 0,01

Si nous comparons les tableaux XIX et XX, nous voyons que le régime naturel et le régime semi-artificiel, tous deux conformes aux normes, sont équivalents.

3°) Régime semi-synthétique à base de pain complet.

Le tableau XXI donne la composition détaillée du régime utilisé en période C.

Ce régime diffère du régime à base de pain blanc, décrit précédemment dans le tableau XX, par le remplacement de 500 g. de pain blanc par 500 g. de pain complet. Il s'ensuit des modifications dans la teneur en éléments énergétiques, minéraux et vitaminiques.

La comparaison des tableaux XX et XXI montre une différence considérable entre les valeurs calorifiques des deux pains. Les 500 g. de pain blanc fournissent environ 200 calories de plus que le même poids de pain complet. Nous avons vu que nous avons compensé cette différence par un apport de 18 g. de sucre et de 30 g. d'amidon de maïs (voir tableau XVI, 3ème partie, p. 106).

Le moindre pouvoir énergétique du pain complet a une triple origine.

- une teneur plus forte en eau;
- une teneur plus forte en matières minérales;
- une moindre utilisation digestive en rapport avec la présence des membranes.

Remarquons néanmoins que le pain complet contient plus de protides et de lipides que le pain blanc. Mais le gain énergétique qui en résulte est infime.

Pour le calcul de la valeur énergétique des différents constituants du régime - sauf les pains - nous avons appliqué à chaque gramme d'élément énergétique ingéré, les coefficients généraux d'ATWATER, de 4 pour les glucides et les protides, de 9 pour les lipides. Ce mode d'évaluation du pouvoir calorifique des aliments, d'après leur composition fait l'objet d'une discussion récente du Comité chargé, par l'Organisation des Nations Unies (F.A.O.) de l'étude des aliments (5).

L'emploi des coefficients généraux est très critiquable. ATWATER, comme nous l'avons vu, calcule les glucides par différence. De ce fait, les constituants des membranes sont comptés comme glucides. Tant que la teneur des aliments en membranes est faible, l'usage des coefficients a conduit à des résultats acceptables. Mais si la proportion de membranes devient notable - ce qui est le cas de farine à haut taux d'extraction - l'erreur peut devenir importante. Ainsi, pour le type d'alimentation utilisé dans certaines régions de la Chine à prédominance de céréales non blutée, l'erreur par excès dans l'estimation de la valeur calorifique de la ration peut être de 6 p. 100.

D'autre part, lorsque la proportion de membranes est très faible comme c'est le cas pour une farine à un taux d'extraction inférieur à 70 p. 100, l'emploi des coefficients généraux d'ATWATER fournit une valeur calorifique trop faible d'environ 2,5 p. 100.

Tableau XXII

COMPOSITION DES DIFFERENTS PAINS

en g. pour 100 g.

Pains	Eau	Cendres	Protides	Lipides	Glucides par différence	Résidus indigest. cellulose + hémicel- lulose + lignine	Valeur calorifique calculée		
							Par coeffic. spécifiques	Par coeffic. absolus (4, 9, 4)	Par coeffic. absolus (4, 9, 4) déduction faite des résidus indigestibles.
Pain blanc	33,5	2,2	7,3	0,9	56,1	0,3	268	262	261
Pain complet	37,5	3,2	7,8	1,05	50,45	5,4	228	243	221
Pain complet (son épuisé à l'eau)	37	2,6	7,2	1	52,2	6,5	231	246	220
Pain blanc (+ extrait de son).....	34	2,8	7,8	0,9	54,5	0,3	263	257	256

Les régimes d'expérience qui sont décrits dans les tableaux XX et XXI, XXIII et XXIV ne diffèrent pratiquement que par la nature du pain ingéré. Aussi, l'application des coefficients généraux 4, 9 et 4 aux constituants autres que ceux du pain n'empêche nullement une comparaison des divers régimes.

L'estimation de la valeur calorifique des différents pains, essentielle pour la bonne interprétation de ces expériences, est délicate. Nous avons d'abord établi, par l'analyse, la composition de ces pains; les résultats sont consignés dans le tableau XXII. Les glucides sont calculés par différence et les constituants spécifiques des membranes en font partie.

Il est bien évident que la valeur énergétique, physiologiquement utilisable, des pains ne peut être convenablement estimée au moyen de la bombe calorimétrique ou par l'usage des réactifs oxydants. Les membranes se comportent alors comme des glucides utilisables. La connaissance de la teneur des pains en constituants spécifiques des membranes ne suffit pas non plus pour déterminer leur valeur calorifique. En retranchant le poids total des constituants des membranes des glucides calculés par différence, on obtient un chiffre auquel le coefficient d'ATWATER ne peut s'appliquer.

La valeur calorifique des différents pains utilisés dans notre expérience est déterminée d'après des coefficients plus spécifiques établis par ATWATER (1). Après avoir obtenu, par l'analyse, les valeurs consignées dans le tableau XXII relatif à la composition des différents pains, nous avons appliqué à chaque gramme de principe énergétique les coefficients suivants :

Désignation des pains	Périodes	Protides	Lipides	Glucides (par différence)
—	—	—	—	—
Blanc 78,9 p. 100 d'extract.....	A, B & D	4,05	8,37	4,12
Complet (100 p. 100 extraction).....	C	3,59	8,37	3,78
Complet (son épuisé à l'eau)	E	3,59	8,37	3,78
Blanc (+ extrait de son)	F	4,05	8,37	4,12

L'usage de ces coefficients, établis expérimentalement par ATWATER n'est pas, dans le cas de nos régimes à l'abri de toute critique. Rappelons qu'il est tenu compte, dans ce mode d'évaluation, des coefficients de digestibilité de l'aliment. Il importe cependant de faire à ce sujet quelques remarques :

- Les coefficients que nous avons adoptés pour le pain blanc fait avec de la farine extraite à 79,8 p. 100 sont ceux fixés par ATWATER pour la farine blanche au taux d'extraction de 70-74 p. 100. A priori, l'application de ces coefficients à une farine moins pure doit nous conduire à surestimer sa valeur énergétique. Toutefois, il faut noter que l'analyse de la farine et du pain correspondant utilisés dans cette expérience ne révèle que la présence de quantités infimes de membranes. Ainsi le

dosage de cette farine par différentes méthodes donne les résultats suivants :

Méthode de WEENDE 0,10 g. p. 100 du produit sec
Méthode de WILLIAMS pratiquement irréalisable pour d'aussi faibles valeurs.

En passant de la farine au pain correspondant la proportion de membranes croît légèrement.

Méthode de WEENDE	0,27 g. p. 100 du produit sec			
(Cellulose.....	0,14 g.	"	"	"
Méthode de (Hémicelluloses..	0,18 g.	"	"	"
WILLIAMS (Lignine	<u>0,05 g.</u>	"	"	"
(Total	0,37 g.	"	"	"

Cet accroissement peut être attribué, soit à l'introduction de la levure, soit à la formation, à la cuisson, de substances se comportant au cours des dosages, comme les constituants des membranes. A ce point de vue, la farine employée se rapproche beaucoup des farines plus fortement blutées. Aussi, nous pensons qu'il est plus juste d'employer les coefficients propres à ces farines.

Ce choix se trouve accrédité par les travaux de Mac CANCE (8 b). Cet auteur trouve des valeurs calorifiques physiologiquement utiles analogues pour des farines à des taux d'extraction de 75 et 85 p. 100, ces valeurs sont respectivement de 342 et 339 calories. C'est au delà du taux de 85 p. 100 que la valeur calorifique diminue sensiblement. Naturellement ces notions dépendent étroitement des conditions de la mouture ainsi que des qualités du blé employé.

- Nous appliquons au pain des coefficients spécifiques proposés pour des farines. Or, pour diverses raisons, dont la principale est le degré de cuisson, les substances énergétiques de ces deux aliments ne peuvent être affectées exactement des mêmes coefficients. Nous pensons, cependant, que les erreurs commises sont comparables dans toutes les périodes et qu'ainsi, nos régimes permettent d'étudier convenablement l'influence des membranes sur la nutrition humaine.

- Les coefficients spécifiques ont été déterminés au cours d'expériences où l'aliment examiné était ingéré en nourriture presque exclusive, ce qui permettait de déterminer des coefficients de digestibilité propres à cet aliment. Dans quelle mesure les coefficients ainsi trouvés sont-ils applicables à nos régimes mixtes ?

L'application des coefficients spécifiques ou généraux à un régime mixte du même type que ceux utilisés couramment aux Etats-Unis conduit pratiquement aux mêmes résultats (5). Mais les céréales qui entrent dans la composition de ces rations sont presque toutes fortement blutées. Aucune donnée expérimentale ne permettait de savoir si l'introduction, avec le pain complet, de quantités importantes de glucides indigestibles n'abaissait pas les coefficients de digestibilité des autres aliments de la ration. Nous avons supposé qu'il n'en était rien. Les résultats expérimentaux nous montrent, qu'au point de vue énergétique, cette supposition se trouve justifiée.

REGIME UTILISE PENDANT LA PERIODE E

- 150 -

Aliments	Poids net par jour	Calories	Cellulose + hémicel- luloses + lignine	Protides	Lipides	Glucides	Phosphore	Calcium	Fer	Vitamine C	Vitamine B1	Vitamine B2	Vitamine PP	Carotène	Vitamine A	Vitamine D
Pain dont le son a été épuisé à 1 ^{er} eau (37 p. 100 d'eau)	500	1157	32,2	36,2	5	261	955	174	7		0,7	0,5	9			
Farine à 79,8 p. 100 d'extract..	120	423	0,2	10,6	1,4	92	144	24	1,5		0,15	0,1	1			
Caséine acide	15	56		14			112	14								
Lait en poudre écrémé	20	72		7,3	0,4	10	175	160	0,3		0,08	0,25	0,4			
Lait stérilisé	240 cc	160		8,3	8,8	12	216	300	0,2		0,1	0,31	0,5			0,0003
Sucre	102	408				102										
Amidon de maïs	30	120				30										
Beurre	31	235		0,3	26		3	4							0,16	0,008
Huile	19	171			19											
Mélange salin : Lactate de calcium	1,5							206								
Chlorure de sodium	7															
Vitamine C										80						
Eau de boisson	1,500L							132								
Totaux		2802		76,7	60,6	507	1605	1014	9	80	1,03	1,16	10,9		0,16	0,0013
Normes		2800		75	60	490	1350	945	15	80	1,5	2,25	16	2,2	0,2 à 0,4	0,003 à 0,01

La teneur des divers aliments en protides est déterminée en multipliant le poids d'azote qu'ils contiennent par des coefficients variables. Nous employons les coefficients proposés par le Comité chargé, par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (F.A.O.), de l'étude des aliments (5).

Farine de froment fortement blutée	5,70 (pain blanc)
Froment, grains entiers	5,83 (pain complet)
Lait	6,38

Pour le pain complet dont le son a été épuisé à l'eau, de même que pour le pain additionné d'un extrait aqueux de son, nous utilisons le coefficient de 5,75. Le facteur 6,38 est appliqué à l'azote contenu dans différents laits et dans la caséine. Dans le cas des légumes et de la viande utilisés pendant la période à alimentation naturelle (voir tableau XIX) nous employons le coefficient de 6,25.

D'autre part, ce régime est établi afin de fournir, sans addition de vitamines synthétiques autres que la vitamine C, des quantités de vitamines du groupe B (B1, B2 et PP) et de fer conformes aux normes. Il est donc, en cela, absolument comparable au régime utilisé dans les périodes d'alimentation naturelle.

Le pain complet accroît considérablement les quantités de phosphore ingéré. Nous avons rétabli le rapport phospho-calcique à la même valeur que dans les deux autres régimes précédemment décrits, par l'adjonction de quantités convenables de lactate de calcium. Les tableaux XXVII et XXVIII indiquent que les doses de ce sel ne suffisent pas à équilibrer le bilan calcique.

4°) Régime semi-synthétique à base de pain complet dont le son a été préalablement épuisé à l'eau.

Ce régime est très comparable au précédent. Il en diffère cependant par quelques points :

- Le pain utilisé dans cette période E, est un peu plus énergétique que celui utilisé en période C à base de pain complet (comparer les tableaux XXI et XXIII). De ce fait, les quantités de sucre ingéré, afin d'établir ce régime au même niveau énergétique qu'en période au pain blanc, sont de 15 g. au lieu de 18 g. ajoutés précédemment.

- Le pain complet était préparé avec une farine obtenue par le mélange des 79,8 centièmes de farine blanche et des 20,2 centièmes correspondant à l'ensemble des remoulages, fins sons et gros sons. Ces issues avaient, au préalable, été moulues finement.

Le pain utilisé dans cette période E (voir tableau XXIII) était préparé par l'addition à la farine blanche des issues épuisées à l'eau.

Tableau XXIV
RÉGIME UTILISÉ PENDANT LA PÉRIODE F

Aliments	Poids net par jour	Calories	Cellulose + hémicel. + lignine	Protides	Lipides	Glucides	Phosphore	Calcium	Fer	Vitamine C	Vitamine B1	Vitamine B2	Vitamine PP	Carotène	Vitamine A	Vitamine D
Pain blanc à 79,8 p. 100 d'extrac- tion + extrait aqueux de son- (34 p. 100 d'eau).....	500	1316	1,5	38,8	4,5	272	930	184	7		0,65	0,5	10			
Farine à 79,8 p. 100 d'extract....	120	423	0,2	10,6	1,4	92	144	24	1,5		0,15	0,1	1			
Caséine acide	15	56		14			112	14								
Lait en poudre écrémé	20	72		7,3	0,4	10	175	160	0,3		0,08	0,25	0,4			
Lait stérilisé	240cc	160		8,3	8,8	12	216	300	0,2		0,1	0,31	0,5			0,0005
Sucre	92	368				92										
Beurre	31	235		0,3	26		3	4							0,16	0,0008
Huile	19	171			19											
Mélange salin : Lactate de calcium	2,65							346								
Chlorure de sodium	7								8,5							
Citrate de fer	0,05															
Vitamine C										80						
Eau de boisson	1,500L							132								
Totaux		2801		79,3	60,1	478	1580	1164	17,5	80	0,98	1,16	11,9		0,16	0,0013
Normes		2800		75	60	490	1350	945	15	80	1,5	2,25	16	2,2	0,2 à 0,4	0,003 à 0,01

L'épuisement a été réalisé à froid dans un percolateur, en suivant les règles classiques de la lixiviation. Le poids d'eau employé a été de 10 fois celui des issues à traiter. (x)

On obtenait ainsi un liquide extractif et, ce que nous appelons, par commodité, un son épuisé. Ce dernier a été séché à l'étuve, à une température de 38°. La composition de ce produit a été donnée antérieurement (voir 3ème partie, tableau XII, p. 92).

Nous nous étions proposé d'ajouter à 79,8 grammes de farine blanche un poids de son épuisé correspondant à 20,2 g. d'issues. Mais ceci conduisait, pour 500 grammes de pain, à ingérer un poids légèrement supérieur de membranes.

Comme en période à base de pain complet, nous avons été amené à rétablir le rapport phospho-calcique à un niveau normal, grâce à l'ingestion de lactate de calcium.

5°) Régime semi-artificiel à base de pain blanc additionné d'un extrait de son.

Ce régime, utilisé en période F est décrit dans le tableau XXIV. Il diffère essentiellement du régime à base de pain blanc (voir tableau XX) par l'ingestion, avec ce pain d'un extrait aqueux de son.

Nous avons vu lors de la description du régime précédent, que les 20,2 centièmes du grain, constituant les issues, avaient été épuisés à l'eau. Le liquide extractif ainsi obtenu a été concentré sous vide, à une température de 70° jusqu'à consistance d'extrait mou. La composition de cet extrait a été donnée antérieurement (voir 3ème partie, tableau XII, p. 92). A 79,8 g. de farine blanche (extraite à 79,8 p.100) était mélangé un poids d'extrait de son correspondant à la fraction hydrosoluble des 20,2 g. d'issues. Le mélange était fait chaque jour, au moment de préparer le pain. Le pain ainsi obtenu était moins énergétique, mais plus riche en azote que le pain blanc (voir tableau XXII).

L'équilibre d'une telle ration nécessite, comme dans tous les autres régimes semi-synthétiques employés, l'introduction de lactate de calcium que nous utilisons en mélange avec le chlorure de sodium.

Dans toutes les phases de l'expérience où des régimes semi-synthétiques sont employés, les volumes d'eau absorbée comme boisson sont les mêmes. Une partie de l'eau de boisson servait à préparer une décoction soigneusement filtrée d'orge torréfiée. Nous n'avons pas fait figurer dans les calculs les éléments apportés par l'orge, mais les quantités d'orge employées étaient toujours les mêmes.

En outre, 7 g. de chlorure de sodium étaient, chaque jour, ingérés en nature, en plus des quantités contenues dans les pains.

(x) - Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à M. André MOREL qui a bien voulu se charger de la préparation du son épuisé et de l'extrait de son, utilisés au cours de ces expériences.

II - MODE D'ADMINISTRATION DES REGIMES D'EXPERIENCE.

Dans toutes les périodes, qui correspondent chacune à l'un de nos tableaux, nous avons administré la ration de telle sorte qu'il ne puisse y avoir pour les sujets en expérience de lassitude causée par la monotonie du régime.

Nous avons imaginé de répartir l'alimentation, identique au total chaque jour, en trois menus aussi différents que possible par l'aspect et le goût. Ainsi les mêmes préparations culinaires très simples, ne se représentaient que tous les trois jours, soit au total 3 fois pendant chaque période de 9 jours. Dans ces conditions, et en dépit de l'aridité des régimes semi-synthétiques, nous avons pu réaliser assez facilement une expérience dont la durée totale a été de deux mois et demi.

III - CHOIX DES SUJETS D'EXPERIENCE.

Le choix des sujets est fort important et comme nous allons le voir très délicat. L'exécution d'une expérience biologique sur l'homme demande de la part des sujets qui s'y prêtent d'autant plus de dévouement que l'expérience est plus longue et plus stricte.

Le sujet n° I a été en expérience 75 jours consécutifs pendant lesquels lui était imposée une nourriture rigoureusement mesurée et ordonnée, sans jamais la moindre fantaisie. Cette nourriture était caractérisée, le plus souvent, par son insipidité. Le souci de maintenir le sujet dans un état de santé sensiblement constant impliquait un rythme de vie très régulier et des plus austère. A cela, il faut ajouter les inconvénients qui consistent à recueillir et à transporter les déjections pendant plus de 3 mois.

Devant toutes ces contraintes, on comprend que les expériences sur l'homme soient, en général, de courte durée ou réalisées avec des régimes naturels variés dont la composition est difficile à maintenir constante. Remarquons que cette contrainte est beaucoup plus dure pour l'individu dont l'activité est normale, que pour des malades, et ce fait explique que beaucoup d'expériences aient été réalisées dans des services hospitaliers. Cependant, il est douteux que les phénomènes de digestion, d'utilisation tissulaire et d'excrétion soient comparables chez l'individu normalement actif et chez le sujet alité.

Mais surtout, et même dans les expériences qui ne présentent pas autant de sévérité que celle-ci, il nous semble difficile que des personnes, ne pouvant se faire une idée précise de la nécessité absolue de ces contraintes, puissent se soumettre longtemps à une règle aussi stricte.

Aux Etats-Unis, ce sont le plus souvent des étudiants en médecine qui se prêtent volontairement à ce genre d'études et nous pouvons penser que leurs connaissances sont le plus sûr garant de la régularité des résultats.

Il est possible que toutes ces réserves paraissent exagérées. Cependant, nous avons une pratique suffisante de ces expériences, à la fois pour en avoir conçu et réalisé plusieurs, pour nous croire autorisé à formuler ces quelques remarques. C'est d'ailleurs en nous identifiant au sujet n° I de cette expérience que nous avons pleinement ressenti toutes ces difficultés.

Si le fait de mettre en expérience le sujet qui attache le plus d'importance aux recherches peut avoir une grande influence sur la valeur des résultats, il doit s'accompagner de quelques précautions qu'il est utile de signaler. La réalisation d'expériences du type de celle que nous décrivons implique un travail analytique considérable. Des expériences antérieures nous avaient appris, à nos dépens, que tout sujet en expérience recevant une nourriture correspondant à une certaine activité, ne peut se permettre un surmenage physique sans risquer de fausser les résultats (10). Ceci implique l'établissement préalable d'un plan de travail exactement tracé, tenant compte du temps nécessaire à la réalisation des méthodes analytiques appropriées, du matériel dont on dispose et surtout, assez souple, pour que l'expérimentateur ne soit pas trop gêné par d'inévitables incidents techniques.

Les deux sujets d'expérience étaient deux hommes adultes âgés respectivement de 32 et 24 ans, en bon état de santé.

Les occupations du premier sujet, que nous avons définies comme correspondant à une activité moyenne, consistaient en un travail usuel de laboratoire, pendant 9 heures par jour, 6 jours par semaine. Le second sujet avait une existence mixte en partie active au laboratoire, en partie sédentaire consistant en des travaux de bibliographie et de rédaction.

Ajoutons que les sujets en expérience effectuaient, chaque jour, une heure de déplacement en métro; par leurs occupations et leur genre d'existence, ils peuvent être considérés comme représentant bien les conditions normales de la vie à Paris.

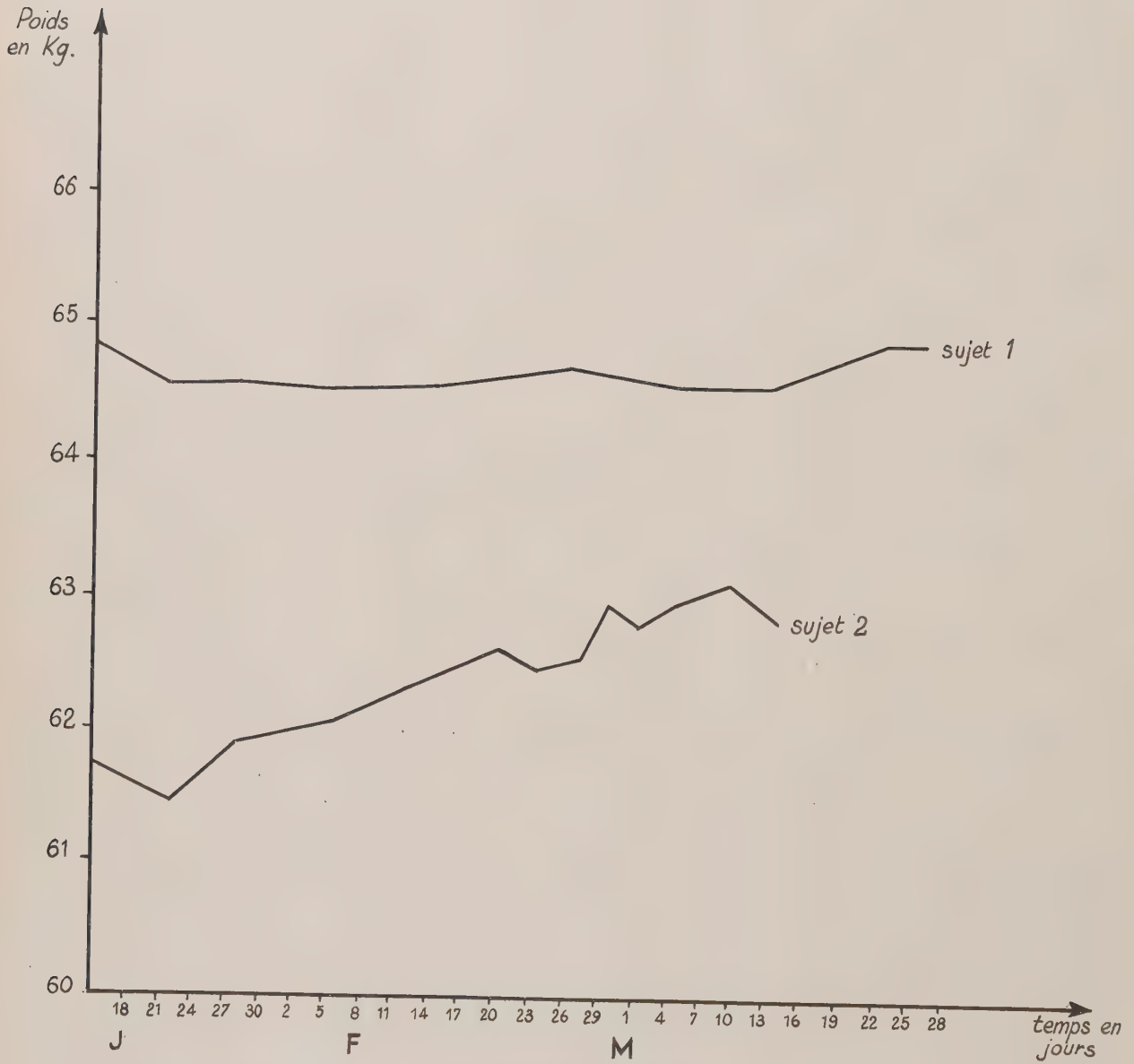
Les sujets se sont pesés plusieurs fois au cours de chaque période, en général à 3 reprises, au début, au milieu et à la fin.

L'évolution du poids des sujets pendant l'expérience est consignée dans le graphique 4. Remarquons, surtout dans le cas du sujet n° I, que le poids est resté remarquablement constant pendant les onze semaines d'expérience, ce qui est une confirmation globale de la valeur des normes et des régimes utilisés, ainsi que du bon état de santé du sujet.

IV - RECOLTE DES EXCRETA.

Nous avons déjà vu quel était le rythme de cette expérience, avec ses périodes alternées à alimentation naturelle ou semi-synthétique (voir 2ème partie, tableau VII, p.66).

GRAPHIQUE 4



Poids des sujets pendant l'expérience.

Chaque période à alimentation semi-synthétique durait 9 jours. A part la période préalable à alimentation naturelle qui a duré 10 jours, toutes les périodes naturelles ont porté sur 5 jours. La période préalable avait pour but de mettre les sujets en expériences en équilibre azoté. A la fin de cette période l'équilibre n'était pas parfait mais nous l'avons jugé assez satisfaisant, les quantités d'azote ingéré n'ayant pas été déterminées par l'analyse, pour tous les constituants du régime naturel.

Toutes les périodes à alimentation semi-synthétique commençaient un lundi matin et finissaient le mardi soir de la semaine suivante. Les urines étaient recueillies à partir du mardi 7 heures du matin; les fèces à partir du mercredi à la même heure, soit 48 heures après le début de l'ingestion du régime. Les urines étaient recueillies jusqu'au mercredi de la semaine suivante, avant 7 heures du matin. Les fèces étaient récoltées - en principe - jusqu'au lendemain jeudi avant 7 heures, mais en pratique les dernières selles étaient excrétées avant le mercredi 13 heures. A ce moment, seul le premier repas de la période intermédiaire à alimentation naturelle avait été pris. Tous les excréta recueillis dans un intervalle de 8 jours correspondaient bien uniquement au même régime ingéré.

V - TRAITEMENT DES EXCRETA.

Chaque jour les fèces et les urines étaient recueillies et traitées de telle sorte que la plupart des analyses puissent être réalisées longtemps après.

Les fèces étaient pesées, soigneusement homogénéisées au moyen d'un gros agitateur de verre, l'agitation mécanique ne nous ayant pas donné satisfaction. Une partie aliquote des fèces fraîches était réservée au dosage des acides gras volatils et à des examens microscopiques. La majeure partie des fèces était mise à l'étuve à 100° pendant 24 heures en couche mince dans des capsules de silice, puis le produit séché était concassé au mortier, pulvérisé au moulin turc, homogénéisé à nouveau au mortier, séché à nouveau à l'étuve à 100° pendant 6 heures et finalement conservé en flacons soigneusement bouchés et étiquetés. C'est ce produit qui nous a servi, par la suite, à déterminer la cellulose, les hémicelluloses, la lignine, l'azote, les cendres et certains éléments minéraux. Pour ces analyses, des poids de matière sèche correspondant à une même partie aliquote des matières fécales fraîches étaient mélangés par période de 3 jours ou deux jours consécutifs. Il eut été plus simple d'effectuer les analyses sur des parties aliquotes correspondant à la durée totale d'une période expérimentale, mais ce fractionnement en périodes de 3 jours avait le mérite d'apprécier le degré de variation des réponses de l'organisme au cours de la même période, ce qu'une analyse globale n'aurait pas permis d'étudier.

Le volume des urines soigneusement mélangées était mesuré chaque jour. Une partie aliquote était prélevée - le vingtième du volume en général - et additionnée d'un cinquantième, en volume, d'acide chlorhydrique pur. Les parties aliquotes d'urines de 2 ou 3 jours consécutifs étaient mélangées, et ce mélange servait, par la suite, à la détermination de l'extrait sec, de l'azote, du phosphore et du calcium.

Notons que le découpage de chaque période expérimentale en phases analytiques d'une durée de 2 ou 3 jours était fait de telle sorte qu'il porte à la fois sur les fèces et les urines correspondantes.

Cette façon de traiter les échantillons à analyser a l'immense avantage d'alléger l'expérimentateur de la contrainte accablante, que lui cause l'arrivée perpétuelle de nouveaux produits à analyser. Elle présente, pourtant, des inconvénients dont nous allons rechercher l'importance.

a) Pendant la dessiccation des fèces, l'ammoniac se volatilise et n'est pas compté dans l'azote total. GOIFFON considère qu'il existe normalement des quantités d'ammoniac correspondant, pour 100 g. de selles, à 3 cm³ d'une solution normale en ammoniac (6). Si nous prenons 200 g. comme poids moyen journalier des fèces, et deux grammes pour l'excrétion azotée quotidienne, on voit que l'erreur due au départ de l'ammoniac correspondant à 6 cm³ de solution normale en azote - soit 0,084 g. -

représente $\frac{0,084 \times 100}{2} = 4,2$ p. 100, par défaut.

En fait, nous avons des raisons de penser que dans nos conditions de régimes alimentaires, cette erreur est moindre : d'abord parce que GOIFFON affirme que l'ammoniac n'est abondant que dans les selles de putréfaction et absent dans les selles de fermentation. Or les caractères analytiques et microbiologiques des selles des sujets prouvent qu'on est en présence de selles de fermentation. Mais surtout, préoccupé par cette cause d'erreurs, nous avons réalisé sur les mêmes matières fécales, fraîches et sèches, le dosage de l'azote et les résultats se sont montrés exactement concordants.

b) L'acidification de l'urine provoque la formation d'un dépôt rouge, constitué, en partie au moins, par de l'acide urique. D'où une nouvelle cause d'erreur dans la détermination des bilans azotés. Cette erreur est certainement faible comme le montre le calcul suivant : l'excrétion moyenne journalière d'acide urique par les urines est de 0,60 g. (4) ce qui correspond à 0,20 grammes d'azote urique, quantité qui représente moins de 2 p. 100 de l'azote total urinaire. Cette cause d'erreur peut d'ailleurs être encore minimisée en agitant la bouteille d'urine acide avant de faire les prélèvements. En opérant dans ces conditions, nous n'avons trouvé aucune différence entre les teneurs en azote d'une urine avant et après acidification.

VI - LES METHODES D'ANALYSE.

Nous avons exposé, par ailleurs, les méthodes d'analyse que nous avons employées pour la détermination des constituants spécifiques des membranes végétales et pour celle des acides gras volatils (voir la 1ère partie, p. 6 et la 3ème partie, p. 88.)

Nous avons établi les bilans d'azote, de phosphore et de calcium, afin de connaître, indépendamment du problème de la cellulose, l'état de fonctionnement de l'organisme au cours des différentes périodes expérimentales et les influences respectives des pains blanc et complet sur ces bilans. Nous avons employé les techniques suivantes :

1°) Azote.

L'azote total a été déterminé par la méthode de KJELDAHL modifiée. Des prises d'essai de 3 cm³ d'urine acidifiée ou de l'ordre de 0,900 g. de matières fécales sèches étaient additionnées de 10 g. de sulfate neutre de potassium, d'une pointe de canif de sélénium en poudre et de 15 cm³ d'acide sulfurique pur. La minéralisation, la distillation et la titration étaient effectuées selon les procédés classiques.

Pour les substances dont nous ne disposions qu'en faible quantité, par exemple pour les résidus de digestion artificielle dont on voulait connaître la teneur en azote, les dosages ont été réalisés au moyen d'une microméthode décrite dans le livre de LOISELEUR (8) avec l'aide du sélénium en poudre comme catalyseur.

2°) Matières minérales.

a) Calcium. - Dans les fèces sèches de 2 ou 3 jours consécutifs, le dosage a été effectué sur une prise d'essai de l'ordre de 400 mg. Le poids de l'échantillon correspondait exactement chaque jour à la deux centième ou quatre centième partie, suivant les périodes, du poids frais des matières fécales.

Pour les urines, la prise d'essai était de 5 cm³. Le prélèvement était fait dans le mélange des parties aliquotes des urines de 3 ou 2 jours consécutifs.

Pour les fèces, la prise d'essai aurait pu être beaucoup plus faible, mais nous avons voulu faire des prélèvements importants qui mettent davantage à l'abri d'un défaut éventuel d'homogénéité des matières fécales sèches.

Dans tous les cas, la minéralisation et le dosage ont été effectués conformément à la technique décrite par GUILLAUMIN pour le sang (7), seule la cinquième partie du liquide de minéralisation des fèces était utilisée par dosage.

b) Phosphore. - Les prises d'essai utilisées pour le dosage du phosphore sont les mêmes que celles employées précédemment. Pour l'urine la minéralisation a été faite de la manière suivante :

L'échantillon d'urine est introduit dans un matras de KJELDAHL de 100 cm³. Après concentration par chauffage, au 1/3 environ du volume primitif on introduit 2,5 cm³ d'acide sulfurique concentré et 10 cm³ d'acide nitrique. On chauffe doucement. Lorsque le mélange brunit, on laisse refroidir et on ajoute 3 cm³ d'un mélange nitro-perchlorique à parties égales. On chauffe d'abord jusqu'à décoloration, puis fortement jusqu'à émission de fumées blanches. On laisse refroidir. On ajoute 10 cm³ d'eau distillée, on rince à 2 ou 3 reprises à l'eau distillée, tous les liquides étant introduits dans une fiole jaugée de 20 cm³. On porte 1/2 heure au bain marie bouillant pour hydrolyser les pyrophosphates. On complète à 20 cm³; 10 cm³ de liquide sont traités selon la technique de COPAUX (3).

Pour les fèces, la minéralisation est effectuée en employant des quantités doubles d'acide nitrique et de mélange nitro-perchlorique.

3°) Extrait sec urinaire.

Nous avons déjà dit (voir 3ème partie, p.104) comment cet extrait a été obtenu. La prise d'essai était de 10 cm³.

4°) Vitamine B₁.

La vitamine B₁ a été dosée dans l'urine au moyen de la méthode de WANG et HARRIS (13) par transformation de la vitamine en thiochrome. Le dosage était fait immédiatement sur les urines recueillies pendant 24 heures.

Pour les produits de meunerie, nous avons préconisé, en collaboration avec J. BOISSELOT, une technique de dosage de cette vitamine (2). C'est par cette méthode que nous avons déterminé les teneurs des pains en aneurine.

Pour le son et l'extrait de son (voir 3ème partie, tableau XII, p.92) cette même technique a été employée mais l'estimation de la fluorescence du thiochrome a été faite non à la vue, mais au moyen du fluoromètre SPEKKER.

Tous les dosages dont les résultats sont rapportés dans ce travail ont été effectués en double. Lorsque l'écart entre les deux valeurs différait de plus de 2 p. 100, de nouveaux dosages en double étaient refaits.

BIBLIOGRAPHIE - 4ème partie.

1. ATWATER (W.O.). - 12 th Annual Report of Storrs (Connecticut) Agricultural Experiment Station; 1899, p. 69-110.
2. BOISSELOT (J.) et FOURNIER (P.). - Bull. Soc. Chim. biol., 1944, 26, 227.
3. COPAUX (H.). - C. R. Acad. Sc., 1921, 173, 656.
4. FLEURY (P.). - Fiches techniques de Chimie biologique, Véga, édit., Paris, 1939, 5ème édition, fiche 21.
5. FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION of the UNITED NATIONS. - Report of a Committee on Calorie Conversion Factors and Food Composition Tables convened by the Nutrition Division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Washington 24-28 February 1947.
6. GOLFFON. (R.). - Manuel de Coprologie clinique. Masson édit., Paris, 1942.
7. GUILLAUMIN (C.O.). - Bull. Soc. Chim. biol., 1932, 14, 105.
8. LOISELEUR (J.). - Techniques de Laboratoire. Masson édit., Paris, 1947, p. 637.
- 8 b. Mac CANCE (R.A.), WIDDOWSON (E.M.), MORAN (T.), PRINGLE (W.J.S.) et MACRAE (T.F.). - Biochem. Journ., 1945, 39, 213.
9. RANDOIN (L.). - Normes de l'alimentation humaine dans (11) p. 26-27.
10. RANDOIN (L.), FOURNIER (P.) et DIGAUD (A.). - Bull. Soc. sc. Hyg. alim., 1944, 32, 21; Bull. Soc. Chim. biol., 1945, 27, 40.
11. RANDOIN (L.), LE GALLIC (P.) et CAUSERET (J.). - Tables de composition des Aliments. 2ème édition, Lanore, édit., Paris, 1947.
12. RUBNER (M.). - Arch. f. Anat. u. Physiol. Abt., 1916, 221 et 237.
13. WANG (Y.L.) et HARRIS (L.J.). - Biochem. Journ., 1939, 33, 1356.
14. WILLIAMS (R.D.) et OLMSTED (W.). - Journ. of Nutr., 1936, 11, 433.

Tableau XXV

BILAN AZOTE (SUJET N° I)

Périodes	AZOTE: (en g.)					Volume urinaire en litres	Extr. sec urinaire en g.	Vit. B1 urinaire en µg.
	Urinaire	Fécal	Tot.excr.	Ingéré	Bilan			
A) Alimentation naturelle.								
I5-I7 J	33,6	4,9	38,5	39,9	+ 1,4	3,89		
I8-20 J	32,4	4,7	37,1	39,9	+ 2,8	3,98		I67
I-3 F	32,8	5,6	38,4	39,9	+ 1,5	4,73	I68	
I5-I7 F	33,1	5,6	38,7	39,9	+ 1,2	4,7	I58	
I8-I9 F	22,3	4	26,3	26,6	+ 0,3	2,32	I20	
2-4 M	34,6	5,7	40,3	39,9	- 0,4	3,82	I82	250
I6-I8 M	32,6	5,5	38,1	39,9	+ 1,8	3,90	I83	
	Bilan général				+ 8,6			
	Bilan journalier moyen				+ 0,43			
B) Pain blanc + 6 g. de papier filtre.								
22-24 J	33,3	4,6	37,9	39	+ 1,1	3,04	I60	
25-27 J	32,6	5,2	37,8	39	+ 1,2	3,38	I63	240
28-29 J	20,6	3,1	23,7	26	+ 2,3	2,09	I02	
	Bilan général				+ 4,6			
	Bilan journalier moyen				+ 0,6			
D) Pain blanc.								
22-24 F	32,4	5	37,4	39	+ 1,6	3,02	I58	
25-27 F	32,6	4,8	37,4	39	+ 1,6	3,05	I51	I70
	Bilan général				+ 3,2			
	Bilan journalier moyen				+ 0,5			
C) Pain complet.								
5-7 F	33,7	6,7	40,4	39,3	- 1,1	3,42	I67	
6-10 F	34,6	7,4	42	39,3	- 2,7	4,32	I68	250
11-12 F	21,6	5,4	27	26,2	- 0,8	2,27	I06	
	Bilan général				- 4,6			
	Bilan journalier moyen				- 0,6			
E) Pain complet (son épuisé à l'eau).								
6-8 M	33,4	6,6	40	38,3	- 1,7	3,29	I52	
9-11 M	32,7	6,6	39,3	38,3	- 1	3,12	I44	310
12-13 M	21,9	4,8	26,7	25,5	- 1,2	2,4	95	
	Bilan général				- 3,9			
	Bilan journalier moyen				- 0,5			
F) Pain blanc + extrait de son.								
20-22 M	31,4	6,3	37,7	39,7	+ 2	3,18	I78	
23-25 M	32,5	5,2	37,7	39,7	+ 2	3,65	I54	I90
26-27 M	21,1	4,4	25,5	26,5	+ 1	2,7	I07	
	Bilan général				+ 5			
	Bilan journalier moyen				+ 0,6			

Tableau XXVI

BILAN AZOTE (SUJET N°2)

Périodes	AZOTE (en g.)					Volume urinaire en litres	Extr.sec urinaire en g.	Vit.Bl urinaire en μ g.	
	Urinaire	Fécal	Tot.excr.	Ingéré	Bilan				
A) <u>Alimentation naturelle.</u>									
15-17 J	33,6	5,8	39,4	39,9	+ 0,5	3,6	I6I	220	
18-20 J	33,6	5,8	39,4	39,9	+ 0,5	3,4			
1-3 F	34,4	4,8	39,2	39,9	+ 0,7	3			
15-17 F	33,1	5,2	38,3	39,9	+ 1,6	3,9	I2I I53		
18-19 F	22,3	3,5	25,8	26,6	+ 0,8	2,3			
2-4 M	33,8	5,9	39,7	39,9	- 0,2	3,1			
	Bilan général				+ 4,3				
	Bilan journalier moyen				+ 0,25				
B) <u>Pain blanc + 6 g. de papier filtre.</u>									
22-24 J	30,8	3,6	34,4	39	+ 4,6	2,5	I66		I80
25-27 J	32,2	5,2	37,4	39	+ 1,6	2,9	I56		
28-29 J	23,9	3,4	27,3	26	- 1,3	1,9	I20		
	Bilan général				+ 4,9				
	Bilan journalier moyen				+ 0,6				
C) <u>Pain complet.</u>									
5-7 F	31,7	8	39,7	39,3	- 0,4	2,6	I42	290	
8-10 F	32,1	7,4	39,5	39,3	- 0,2	3,1	I58		
11-12 F	20,8	4,9	25,7	26,2	+ 0,5	1,8	I06		
	Bilan général				- 0,1				
	Bilan journalier moyen				0				
E) <u>Pain blanc + extrait de son.</u>									
6-8 M	30,75	6,75	37,5	38,3	+ 0,8	2,92	I62		
9-11 M	31,9	6,2	38,1	38,3	+ 0,2	2,7	I62		
12-13 M	20,5	4,8	25,3	25,5	+ 0,2	2,81	I10		
	Bilan général				+ 1,2				
	Bilan journalier moyen				+ 0,15				

BILAN DU CALCIUM ET DU PHOSPHORE (sujet n°1)

Périodes	CALCIUM (enmg.)					PHOSPHORE (en mg.)				
	Urinaire	Fécal	Tot. excr.	Ingéré	Bilan	Urinaire	Fécal	Tot. excr.	Ingéré	Bilan
A) Alimentation naturelle.										
I5-I7 J	523	2100	2623	3114	+ 491	1900	I325	3225	4146	+ 921
I8-20 J	433	1880	2313	3114	+ 801	2470	I200	3670	4146	+ 476
I-3 F	568	2800	3368	3114	- 254	2462	I250	3712	4146	+ 434
I5-I7 F	402	2400	2802	3114	+ 312	2560	I300	3860	4146	+ 286
I8-I9 F	300	I760	2060	2076	+ 16	1825	850	2675	2764	+ 89
2-4 M	588	2440	3028	3114	+ 86	2640	I410	4050	4146	+ 96
I6-I8 M	467	2320	2787	3114	+ 327	2412	I550	3962	4146	+ 184
	Bilans généraux				+ 1779					+ 2486
	Bilans journaliers moyens				+ 89					+ 124
B) Pain blanc + 6 g. de papier filtre										
22-24 J	582	2010	2592	2910	+ 318	2455	I400	3853	4140	+ 287
25-27 J	788	2400	3188	2910	- 278	3070	I500	4570	4140	- 430
28-29 J	495	I440	I935	I940	+ 5	I680	980	2660	2760	+ 100
	Bilans généraux				+ 45					- 43
	Bilans journaliers moyens				+ 6					- 5
D) Pain blanc.										
22-24 F	568	2240	2808	2910	+ 102	2410	I750	4160	4140	- 20
25-27 F	507	2260	2767	2910	+ 143	2260	I600	3860	4140	+ 280
	Bilans généraux				+ 245					+ 260
	Bilans journaliers moyens				+ 41					+ 43
C) Pain complet.										
5-7 F	624	2690	3314	3108	- 206	2220	3200	5420	5496	+ 76
8-10 F	514	3200	3714	3108	- 606	2750	3500	6250	5496	- 754
11-12 F	296	I870	2166	2072	- 94	2085	I800	3885	3664	- 221
	Bilans généraux				- 906					- 899
	Bilans journaliers moyens				- 113					- 112
E) Pain complet (son épuisé à l'eau).										
6-8 M	479	3040	3519	3042	- 477	2700	2300	5000	4815	- 185
9-11 M	480	2800	3280	3042	- 238	2820	2242	5062	4815	- 247
I2-I3 M	472	I920	2392	2028	- 364	2060	I400	3460	3210	- 250
	Bilans généraux				- 1079					- 682
	Bilans journaliers moyens				- 135					- 85
F) Pain blanc + extrait de son										
20-22 M	520	3280	3800	3492	- 308	3620	I750	5370	4740	- 630
23-25 M	592	2760	3352	3492	+ 140	3480	I290	4770	4740	- 30
26-27 M	355	2280	2635	2328	- 307	2432	820	3252	3160	- 92
	Bilans généraux				- 475					- 752
	Bilans journaliers moyens				- 60					- 94

Tableau XXVIII

BILAN DU CALCIUM ET DU PHOSPHORE (sujet n° 2)

Périodes	CALCIUM (en mg.)					PHOSPHORE (en mg.)				
	Urinaire	Fécal	Tot. excr.	Ingéré	Bilan	Urinaire	Fécal	Tot. excr.	Ingéré	Bilan
A) Alimentation naturelle.										
I5-I7 J	830	I865	2695	3II4	+ 4I9	2I70	I380	3550	4I46	+ 596
I8-20 J	622	2240	2862	3II4	+ 252	2720	I250	3970	4I46	+ I76
I-3 F	490	2630	3I20	3II4	- 6	2540	980	3520	4I46	+ 626
I5-I7 F	576	2425	300I	3II4	+ II3	2680	I370	4050	4I42	+ 96
I8-I9 F	4I2	I300	I7I2	2076	+ 364	I833	8I0	2643	2764	+ I2I
2-4 M	530	2080	26I0	3II4	+ 504	254I	I390	393I	4I46	+ 2I5
	Bilans généraux				+ I646					+ I830
	Bilans journaliers moyens				+ 97					+ I30
B) Pain blanc + 6 g. de papier filtre										
22-24 J	442	20I0	2452	29I0	+ 458	23I0	I300	36I0	4I40	+ 530
25-27 J	680	3000	3680	29I0	- 770	2500	I900	4400	4I40	- 260
28-29 J	540	I224	I764	I940	+ I76	I900	880	2780	2760	- 20
	Bilans généraux				- I36					+ 250
	Bilans journaliers moyens				- I7					+ 3I
C) Pain complet.										
5-7 F	447	3080	3527	3I08	- 4I9	2340	3600	5940	5496	- 444
8-I0 F	400	3200	3600	3I08	- 492	2820	2800	5620	5496	- I24
II-I2 F	332	I680	20I2	2072	+ 60	I824	I960	3784	3664	- I20
	Bilans généraux				- 85I					- 688
	Bilans journaliers moyens				- I06					- 86
E) Pain complet (son épuisé à l'eau).										
6-8 M	602	3033	3635	3042	- 593	2723	234I	5064	48I5	- 249
9-II M	408	2840	3248	3042	- 206	3I30	I860	4990	48I5	- I75
I2-I3 M	3I7	I894	22II	2028	- I83	I987	I294	328I	32I0	- 7I
	Bilans généraux				- 982					- 495
	Bilans journaliers moyens				- I23					- 62

RESUME ET CONCLUSIONS.

Notre but a été d'étudier les rapports existant entre les membranes végétales et l'alimentation de l'homme.

Un examen rapide des méthodes proposées pour le dosage des constituants indigestibles de la ration nous a révélé que la plupart des travaux ont été réalisés au moyen de techniques insuffisantes. De ce fait, beaucoup de données classiques relatives à ces questions doivent être révisées.

Notre travail est divisé en quatre parties :

1°) Après un rappel succinct de la constitution des membranes végétales, nous avons entrepris de savoir quels renseignements fournissaient certaines méthodes de dosage des constituants des membranes. Ce travail nous a conduit à adopter la méthode biochimique et chimique de WILLIAMS et OLLSTED.

2°) Une vaste étude bibliographique et expérimentale a été consacrée au sort de la cellulose, des hémicelluloses, des matières pectiques et de la lignine dans le tube digestif de l'homme. Les causes de la dégradation de ces substances, l'intensité de cette dégradation ont été recherchées, ainsi que les facteurs influençant ces phénomènes. Une expérience biologique spéciale nous a montré que le taux de la cellulolyse varie considérablement avec la méthode employée pour le dosage de la cellulose. Certains composés hémicellulosiques subissent, du fait de l'action du milieu gastrique, un début de digestion chimique.

Une fraction variable, souvent très importante, des membranes disparaît au cours du transit digestif. Cependant, en raison des faibles quantités de membranes contenues dans la ration normale, le bénéfice qui en résulte pour l'homme n'est pas considérable.

3°) Il est un autre aspect, beaucoup plus important, des rapports existant entre l'ingestion de membranes végétales et l'alimentation de l'homme. Classiquement, on attribue aux membranes un rôle défavorable, leur présence entraînant une diminution des coefficients d'utilisation digestive des principes énergétiques de la ration.

Nous avons montré que cette opinion repose, avant tout, sur de mauvaises analyses.

Nous avons divisé cette étude en deux parties :

A) L'influence des constituants des membranes végétales sur les coefficients d'utilisation digestive des protides a été recherchée et nous en avons conclu, à la suite d'expériences biologiques sur l'homme, que les constituants des membranes n'interviennent pas directement dans l'abaissement de ces coefficients.

Il reste cependant que l'ingestion, avec le son de blé ou les légumes frais, - aliments sur lesquels ont porté nos expériences -, de quantités importantes de membranes végétales, s'accompagne d'un accroissement important des quantités d'azote rejetées par les fèces. L'étude des diverses sources de l'azote fécal semble prouver qu'il provient, en grande partie, d'une prolifération accrue de bactéries intestinales.

L'addition à un même régime de base, suivant les périodes expérimentales, de papier filtre, de son de blé épuisé à l'eau ou de l'extrait aqueux provenant de cet épuisement, nous permettent d'expliquer ainsi l'accroissement d'azote fécal consécutif à l'ingestion de son :

Du fait de leur condition de vie dans l'intestin, une partie au moins des micro-organismes qui y vivent ont perdu certaines facultés de synthèse. Les vitamines et les oligo-éléments minéraux contenus en abondance dans le son de blé joueraient le rôle de facteurs de croissance vis-à-vis de ces micro-organismes.

Contrairement aux données classiques relatives à cette question, les membranes végétales n'influent pas directement sur l'excrétion d'azote fécal. Mais elles y participent de deux façons :

a) En accroissant l'azote fécal d'origine exogène, soit en isolant les protides protoplasmiques de l'action des sucs digestifs, soit du fait de la présence, dans les membranes, de substances azotées solidement engagées. C'est là un rôle direct, mais nous avons montré qu'il était faible.

b) En fournissant aux micro-organismes intestinaux un substrat abondant aux dépens duquel ils peuvent se développer. C'est donc la portion dégradée des membranes et non la fraction résistante à l'attaque microbienne qui influe sur les quantités d'azote éliminées par les fèces.

B) L'influence des membranes végétales sur l'utilisation énergétique de la ration a été ensuite envisagée.

Par rapport à une farine très blutée, ne contenant que des quantités infimes de membranes, nous avons établi que les pertes énergétiques d'origine fécale, consécutives à l'ingestion de farine complète de blé correspondaient sensiblement à sa teneur en membranes.

Il est donc faux de parler d'action défavorable des membranes sur l'absorption des principes normalement utilisables de la ration. Cependant, les membranes végétales du blé - celles des légumes également -, n'ont pas non plus un simple rôle encombrant. Une fraction notable des constituants des membranes disparaît au cours du transit digestif et est utilisée par l'organisme. L'autre fraction est éliminée par les fèces. Mais le poids de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine retrouvé dans les fèces ne représente qu'une partie de l'accroissement du poids des matières organiques provoqué par l'ingestion de farine complète de blé. L'autre partie est formée de pentosanes solubilisées, de glucides normalement utilisables, d'acides gras volatils et surtout de matières azotées. Dans nos expériences, à vitesse de transit intestinal sensiblement constant, le poids total et la valeur énergétique de ces dernières substances coïncident bien avec le poids et la valeur énergétique des constituants spécifiques des membranes disparues au cours du transit digestif.

Des travaux importants, réalisés par ATWATER et par Mac CANCE, avaient conduit à attribuer à la farine de blé entier une valeur énergétique physiologiquement utilisable de 8 p. 100 inférieure à celle d'une farine fortement blutée, et nous avons établi que cette différence correspond à la valeur énergétique des membranes de la farine entière de blé.

Une question primordiale restait posée à la suite des déterminations de ces auteurs, déterminations réalisées avec des régimes constitués presque uniquement par la farine étudiée. La farine de blé entier, incorporée à un régime mixte, équilibré, conforme aux normes de l'alimentation humaine, allait-elle introduire, par rapport à la farine blanche, une perte énergétique d'origine fécale égale ou supérieure à celle qu'elle cause en alimentation exclusive ? Autrement dit, la présence de son dans le régime influence-t-elle l'utilisation des autres constituants des aliments ?

Nos expériences nous permettent de conclure que tout se passe comme si l'ingestion de son ne modifiait pas sensiblement le pouvoir énergétique physiologiquement utilisable des autres composants de la ration.

Nous envisageons ensuite l'influence des constituants des membranes des légumes et des fruits sur l'utilisation énergétique de la ration. Cette influence n'est pas défavorable et, dans certains cas, la valeur énergétique des légumes est due, pour une forte part, à la bonne utilisation par l'organisme des membranes de ces aliments.

4°) Nous décrivons ensuite minutieusement l'expérience sur l'homme dont les résultats ont servi de base à ce travail.

T A B L E D E S M A T I E R E S

INTRODUCTION	I
PREMIERE PARTIE	
CHOIX D'UNE METHODE DE DOSAGE DES CONSTITUANTS	
<u>DES MEMBRANES VEGETALES EN VUE D'EXPERIENCES BIOLOGIQUES SUR L'HOMME & L'ANIMAL</u>	1
Chapitre premier. - LES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES.	2
I - <u>Les constituants spécifiques</u>	2
1°) Les constituants glucidiques.	2
2°) Les constituants non glucidiques	3
II - <u>Les constituants non spécifiques</u>	3
Chapitre deuxième. - VALEUR DES RESULTATS FOURNIS PAR CERTAINES METHODES DE DOSAGE DES CONSTITUANTS SPECIFIQUES DES MEMBRANES VEGETALES.	4
I - <u>Méthodes de dosage courantes et méthodes de référence</u>	4
1°) La méthode de WEENDE	5
2°) " de GUILLEMET et JACQUOT	6
3°) " de WILLIAMS et OLMSTED	6
II - <u>Comparaison entre les résultats fournis par ces différentes méthodes</u>	7
1°) Analyse effectuée par la méthode de WEENDE	7
2°) " " " " de GUILLEMET & JACQUOT	7
3°) Dosage du son par la méthode de WILLIAMS & OLMSTED	9
4°) comparaison entre les résultats trouvés par les différentes méthodes.	9
Chapitre troisième. - CHOIX D'UNE METHODE DE DOSAGE	12
Bibliographie.	14

DEUXIEME PARTIE

LE SORT DES MEMBRANES VEGETALES
AU COURS DES PHENOMENES DIGESTIFS

Chapitre premier. - LA CELLULOLYSE DANS L'INTESTIN HUMAIN	16
I - <u>Les causes de la cellulolyse.</u>	16
1° - <u>Les cellulases des végétaux.</u>	16
A - Bactéries.	16
B - Champignons.	17
C - Autres végétaux.	17
2° - <u>Les cellulases des animaux.</u>	18
A - Protozoaires.	18
B - Invertébrés	18
C - Vertébrés.	18
II - <u>Produits formés au cours de la dégradation de la cellulose dans le tube digestif.</u>	19
III - <u>Niveau de la cellulolyse.</u>	19
IV - <u>Intensité de la cellulolyse.</u>	20
Chapitre deuxième. - FACTEURS AGISSANT SUR LE COEFFICIENT DE DIGESTIBILITE DE LA CELLULOSE.	23
I - <u>Influence de la structure des membranes.</u>	23
II - <u>Influence du régime alimentaire.</u>	24
III - <u>Influence du facteur individuel.</u>	24
IV - <u>Influence de la grosseur des particules " cellulosiques " ingérées.</u>	26
V - <u>Influence des méthodes de dosage employées sur l'évaluation du taux de la cellulolyse.</u>	27

Chapitre troisième. - LE SORT DES HEMICELLULOSES AU COURS DU TRANSIT DIGESTIF.	33
I - <u>Importance de la question.</u>	33
II - <u>Causes de la disparition des hémicelluloses dans le tube digestif de l'homme.</u>	35
1° - <u>Action des sucs digestifs.</u>	35
A - Action due au pH des sucs digestifs.	35
B - Action des diastases digestives de l'homme.	36
2° - <u>Action des diastases spécifiques.</u>	36
3° - <u>Répartition des hémicellulases.</u>	37
A - Les hémicellulases des végétaux.	37
a - Bactéries	37
b - Champignons.	37
c - Végétaux supérieurs.	37
B - Les hémicellulases des animaux.	38
a - Protozoaires	38
b - Invertébrés	38
c - Vertébrés.	38
III - <u>Produits formés au cours de l'hémicellulolyse.</u>	
<u>Niveau et intensité du phénomène.</u>	38
IV - <u>Intensité de l'hémicellulolyse.</u>	39
V - <u>Facteurs influençant le phénomène de l'hémicellulolyse.</u>	40
1° - <u>Influence de la structure des membranes.</u>	40
2° - <u>Influence du régime alimentaire.</u>	41
3° - <u>Variations dues aux sujets en expérience.</u>	41
4° - <u>Autres facteurs pouvant agir sur le taux de l'hémicellulolyse.</u>	43
Chapitre quatrième. - SORT DES AUTRES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES DANS L'INTESTIN DE L'HOMME.	44
I - <u>Sort des matières pectiques au cours du transit digestif</u>	44
II - <u>Sort de la lignine dans le tube digestif de l'homme.</u>	45
Chapitre cinquième. - SORT DE L'ENSEMBLE DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES DANS L'APPAREIL DIGESTIF DE L'HOMME.	50
Bibliographie.	54

TROISIEME PARTIE

INFLUENCE DES MEMBRANES VEGETALES

SUR LA NUTRITION DE L'HOMME

59

Chapitre premier. - UTILISATION DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES PAR L'ORGANISME HUMAIN.

59

Chapitre deuxième. - INFLUENCE DES CONSTITUANTS DES MEMBRANES VEGETALES SUR LES COEFFICIENTS D'UTILISATION DIGESTIVE DES PROTIDES.

63

I - Influence des membranes du grain de blé sur l'utilisation digestive des protides.

64

1° - Régression des coefficients d'utilisation digestive consécutive à l'ingestion du son de blé.

64

2° - Quelle est, dans le son, la substance responsable de l'augmentation de l'azote fécal ?

65

3° - Origine de l'azote contenu dans les matières fécales.

72

A - Origine exogène.

73

a - Digestibilité des protides du son.

73

b - Digestibilité des protides de différents pains.

73

B - Origine endogène.

75

a - Influence du son sur la vitesse du transit intestinal

76

b - Influence de la desquamation intestinale.

80

c - Influence des sécrétions digestives sur la production d'azote fécal.

81

C - L'azote bactérien intervient-il dans l'accroissement de l'azote fécal causé par l'ingestion de son ?

82

II - Influence des membranes des légumes et des fruits sur les coefficients d'utilisation digestive de l'azote.

93

Chapitre troisième. - INFLUENCE DES MEMBRANES VEGETALES SUR L'UTILISATION ENERGETIQUE DE LA RATION.

95

I - Influence des constituants des membranes du grain de blé.

95

1° - <u>Comparaison des pertes énergétiques fécales causées par l'ingestion de farines à différents taux d'extraction.</u>	95
2° - <u>Détermination de la valeur énergétique physiologiquement utilisable des farines suivant le taux d'extraction.</u>	99
A - En alimentation exclusive.	99
a - Déterminations d'ATWATER.	99
b - Déterminations de Mac CANCE.	101
c - Déterminations de MACRAE.	102
B - En alimentation mixte.	102
a - Pertes énergétiques dues à l'accroissement de la valeur calorifique des fèces.	102
b - Energie nécessaire au transport de la masse fécale.	107
c - Energie correspondant à la sécrétion des sucs digestifs.	108
II - <u>Influence des constituants des membranes des légumes et des fruits.</u>	109
Bibliographie.	113

QUATRIEME PARTIE

<u>DES EXPERIENCES DE NUTRITION REALISEES SUR L'HOMME</u>	119
Chapitre premier. - ESSAI DE NORMALISATION DES REGIMES A EMPLOYER DANS DES ETUDES DE NUTRITION REALISEES SUR L'HOMME.	119
Chapitre deuxième. - DETAILS TECHNIQUES CONCERNANT L'EXPERIENCE SUR L'HOMME DONT LES RESULTATS ONT ETE DONNES ANTERIEUREMENT.	122

I - <u>Etablissement des régimes d'expériences.</u>	
1° - <u>Régime naturel.</u>	I22
2° - <u>Régime semi-synthétique à base de pain blanc.</u>	I24
3° - <u>Régime semi-synthétique à base de pain complet.</u>	I26
4° - <u>Régime semi-synthétique à base de pain complet dont le son a été épuisé à l'eau.</u>	I31
5° - <u>Régime semi-synthétique à base de pain blanc additionné d'un extrait de son.</u>	I33
II - <u>Mode d'administration des régimes d'expérience</u>	I34
III - <u>Choix des sujets d'expériences.</u>	I34
IV - <u>Récolte des excreta.</u>	I35
V - <u>Traitement des excreta.</u>	I37
VI - <u>Les méthodes d'analyse.</u>	I38
Bibliographie.	I41
RESUME ET CONCLUSIONS.	I47
Table des Matières.	I51

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

LES BESOINS DES BACTÉRIES, ALGUES ET
CHAMPIGNONS EN FACTEURS DE CROISSANCE.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 10 Juin 1948

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

JEAN CABANNES

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

JEAN SARRAILH

**Travail publié sous les auspices de l'Institut professionnel de Contrôle
et de Recherches scientifiques des Industries de l'Alimentation animale.**

